

1865. ANNALEN. Vo. 12.

## DER PHYSIK UND CHEMIE.

BAND CXXVI.

I. Ueber eine besondere Art der Bewegung elastischer Körper auf tönenden Röhren und Stäben;  
von Dr. August Kundt.

(In Verbindung mit einer andern demnächst in diesen Annalen erscheinenden Abhandlung in der Sitzung der physikalisch-mathematischen Classe der Berliner Academie der Wissenschaften am 22. Mai 1865 vom

Hrn. Prof. Magnus mitgetheilt.)

Im 53. Bande von Schweigger's Journal S. 308 beschreibt W. Weber folgenden von ihm mit longitudinal schwingenden Glasröhren angestellten Versuch. Steckt man in das eine Ende einer längeren Glasröhre einen gut schließenden Kork, hält die Röhre in der Mitte mit der Hand und reibt sie am andern Ende mit einem nassen Tuch, so daß dieselbe tönt, so wandert während des Tönen der Kork von dem freien Ende der Röhre zu dem Knotenpunkt in der Mitte derselben. An dieser Stelle bleibt der selbe alsdann ruhen. Die Kraft, mit der diese Bewegung ausgeführt wird, ist nach Weber's Angabe so bedeutend, daß der Kork selbst in einer Röhre, die sich nach der Mitte hin schwach conisch verjüngt, zu dem Knotenpunkt in der Mitte wandert, und selbst, wenn bei vertical gehaltener Röhre eine mehrere Fuß hohe Wassersäule auf den Kork gegossen wird, wird auch diese noch mit dem Kork gehoben.

Weber theilt an dem angeführten Orte das einfache Factum mit, ohne eine Erklärung der Erscheinung zu geben und gleichfalls ohne eine solche findet man seine Beobachtung in fast allen Lehrbüchern der Physik erwähnt. Es ist aber durchaus nicht ohne Weiteres klar, wie eine

solche Bewegung des Korkes von einem Maximum der longitudinalen Oscillationen zu einem Knotenpunkt derselben entsteht.

Eine longitudinal geriebene Röhre vollführt bekanntlich immer zweierlei Bewegungen, einmal longitudinale, d. h. solche, bei denen die Theilchen sich in der Richtung der Röhre bewegen, sodann treten aber mit diesen vereint immer transversale Schwingungen auf, d. h. solche, bei denen sich die Theilchen senkrecht zur Längsrichtung der Röhre bewegen. Nur von diesen letzteren wissen wir, daß sie einen Körper, der sich in oder auf einer tönenden Röhre befindet, von seinem Orte zu bewegen vermögen, denn unter dem Einfluß dieser secundären transversalen Schwingungen ordnet sich eingestreuter Sand in longitudinal geriebenen Röhren in die bekannten von Savart entdeckten spiralförmigen Knotenlinien, und auf longitudinal geriebenen Stäben in die auf zwei entgegengesetzten Seiten alternirend liegenden Knoten.

Diese transversalen Schwingungen können aber, wenn keine besonderen Umstände mitwirken, einen Körper immer nur bis zu irgend einem Punkte der Knotenlinien dieser Oscillationen bewegen. Die von Weber beobachtete Erscheinung ist aber gerade dadurch ausgezeichnet, daß der Kork unbekümmert um die secundären Knotenlinien, zu einem Knoten der longitudinalen Oscillationen hinwandert. Der Kork wandert über die spiralförmigen Knotenlinien fort, zu dem Knoten der longitudinalen Oscillationen in der Mitte der Röhre. Da demnach anscheinend die Bewegung unabhängig von den transversalen Schwingungen ist, so scheint man allgemein angenommen zu haben, daß dieselbe durch die longitudinalen hervorgebracht sey, besonders da nach Weber die Richtung der Bewegung eine ganz bestimmte ist, nämlich immer vom freien Ende zum Knotenpunkt. Wie ein bloßes Hin- und Hergleiten der Theilchen der Röhre den Kork fortschieben könne, und warum derselbe immer zum Knotenpunkt bewegt wird, ist durchaus nicht einzusehen. So lange man den Grund der

Bewegung nur in der Natur der Schwingungen der Röhre sucht, wozu man geneigt seyn wird, da der Kork immer zum Knotenpunkt wandert, muß überhaupt jeder Versuch einer genügenden Erklärung misslingen. Die Bewegung, wie sie von Weber beobachtet wurde, ist jedoch nur ein specieller Fall einer allgemeinen Erscheinung. Als ich bei Wiederholung des Versuches statt einen Kork in die Röhre zu stecken, einen durchbohrten Kork auf dieselbe gesteckt hatte, war ich überrascht zu sehen, daß derselbe bald mit großer Kraft zum Knotenpunkte hinwanderte, bald von Neuem aufgesteckt, zum freien Ende eilte und von diesem herunter geschleudert wurde<sup>1)</sup>. Es zeigte sich überhaupt daß viele Körper, die sich in oder auf einer tönen Röhre befinden, sich während des Tönen bald mit großer Energie vom freien Ende zum Knotenpunkt, bald vom Knotenpunkt zum freien Ende bewegen, ja daß derselbe Körper, der das eine Mal nach dem Knotenpunkt wandert, nach einer Änderung seiner Lage sich von diesem Knotenpunkt wieder fort bewegt.

Hieraus ergab sich deutlich, daß die Erklärung jener eigenthümlichen Bewegung sich nicht nur auf die Form der Schwingungen der Röhre zu stützen habe, sondern auch Rücksicht zu nehmen habe auf die Form und Beschaffenheit des bewegten Körpers.

Um aber zu einer Erklärung zu gelangen, war es vor Allem nöthig, die Bedingungen, unter denen diese eigenthümlichen Bewegungen auftreten, genauer festzustellen, und es wurden zu dem Ende eine große Reihe einander ähnlicher, aber doch immer etwas variirter Versuche angestellt, von denen die interessanteren und entscheidenden im Folgenden angegeben werden.

1) Durch gütige Mittheilung des Hrn. Prof. Stern in Göttingen erfuhr ich, daß von ihm bereits in Schweigg. Journ. Bd. 61, S. 264 angegeben sey, daß sich ebenso wie Korkstücke auch zusammen gerollte Papierstücke in Röhren und durchbohrte Papierstücke auf Röhren beim Tönen bewegen. Die kurze Notiz am angeführten Orte enthält jedoch keine Angabe der Richtung der Bewegung und auch keinen Versuch einer Erklärung.

Der gröfseren Ruhe und Sicherheit wegen wurden die Röhren und Stäbe während des Tönens nicht in der Hand gehalten, sondern meist mittelst zweier Klemmen, die an einen festen Tisch angeschraubt waren, in zwei Knotenpunkten eingeklemmt. Dann wurde entweder in der Mitte zwischen den beiden Knotenpunkten gerieben, — bei Glas mit einem nassen Tuch, bei Metallstäben mit Leder und Colophonum — und die Bewegungen an einem der freien Enden beobachtet, oder es wurde an einem der Enden gerieben und die Bewegungen in der Mitte beobachtet. Oft wurde auch die Röhre oder der Stab nur in der Mitte eingeklemmt, und nun die eine Hälfte gerieben, während auf der andern die Bewegungen vor sich gingen. Die Röhre kann natürlich auch statt mit einem oder zwei Knotenpunkten mit noch mehreren schwingen, die Bewegungsscheinungen bleiben zwischen zwei Knotenpunkten immer dieselben.

Für einen grofsen Theil der Versuche, insbesondere bei Anwendung von Röhren, bedarf es übrigens der Klemmen zum Festhalten nicht, die Versuche gelingen ganz wohl, wenn man die Röhren in freier Hand hält.

Die angewandten Glasröhren und Stäbe hatten eine Länge zwischen 6 Fuſs und  $1\frac{1}{2}$  Fuſs und sehr verschieden große Querschnitte. Die angewandten Metallstäbe hatten meist eine Länge von 1 Meter.

Von Weber's Versuch ausgehend, wandte auch ich zuerst Glasröhren an und mit diesen kann man leicht folgende Versuche anstellen:

1. In das eine freie Ende einer mit zwei oder einem Knotenpunkt tönenden Röhre setze man einen nicht allzu fest schließenden, etwas conischen Kork, so daß die breitere Grundfläche des Conus nach Aufsen zum freien Ende hin liegt. Beim Tönen wird der Kork, wie Weber beobachtet hat, sich zum Knotenpunkt hinbewegen. Dann setze man den Kork ein zweites Mal so in die Röhre, daß die breitere Grundfläche nach dem Knotenpunkt hinlegt. Sogleich wird derselbe beim Tönen sich in der Richtung vom Knotenpunkt zum freien Ende bewegen, und an

diesem noch aus der Röhre herausgeschleudert werden. Der Kork braucht nur sehr wenig, kaum merklich conisch zu seyn.

2. Bringt man den Kork in den Raum zwischen die beiden longitudinalen Knotenpunkte der Röhre, so wird er sich ebenfalls, mag er sich befinden, wo er will, in dem Sinne von der breiteren Basis des Conus zur spitzeren Endfläche bewegen.

3. Verfertigt man sich einen Ring von Kork, der gut auf die Gläsröhre passt, und giebt der Oeffnung im Innern eine etwas conische Form, so wandert der Ring während des Tönen jedesmal in der Richtung von der Spitze seiner conischen Oeffnung, zu der breiteren Grundfläche derselben, und es ist dabei ganz gleichgültig, ob diese Richtung zum Knotenpunkte hin oder von demselben fortführt. In Fig. 1 und 2 Taf. VI ist schematisch eine Röhre mit einem conischen Korkring gezeichnet und die beigesetzten Pfeile bezeichnen die Richtung der Bewegung.

4. Ein Kork oder Korkring führen noch dieselben Bewegungen aus, wenn dieselben auch nur außerordentlich wenig conisch sind; es genügt sogar, daß man den Kork oder den Ring im Innern etwas rauh feilt und alsdann alle die kleinen Unebenheiten nach einer Richtung streicht. Nur ist alsdann die Energie der Bewegung nicht so sehr bedeutend. Dieselbe wird aber sehr groß, wenn man dem Kork die Form giebt, wie in Fig. 3 Taf. VI dargestellt; derselbe wandert dann in der Röhre mit großer Energie in der Richtung des Pfeiles.

5. Ebenso wie aus Kork kann man sich auch Stöpsel und Ringe aus Caoutchuc, vulcanisirtem oder nicht vulcanisirtem schneiden, dieselben führen, wenn sie die angegebenen Formen haben, auch die obigen Bewegungen aus, d. h. sie wandern je nach ihrer Lage von oder zum Knotenpunkt. Ebenso wandert ein aus etwas wolligem Tuch aufgerollter Propfen. Alle diese Körper sind jedoch nicht so geeignet für die Versuche wie Kork, da sie leicht das Tönen der Röhre hindern.

6. Genau cylindrische Ppropfen oder Ringe von Kork

oder Caoutchouc oder dergleichen, die an ihrer Oberfläche *vollkommen glatt* sind, bewegen sich in oder auf einer tönnenden Röhre entweder gar nicht oder sie bewegen sich nur wie eingestreuter Sand zur nächsten marquirten Stelle der Savart'schen Knotenlinien, nie aber über diese hinweg bald zum longitudinalen Knotenpunkt bald von demselben fort.

7. Conische Pfropfen oder Ringe von Holz, Metall oder andern wenig elastischen Körpern bewegen sich ebenfalls nicht in der angegebenen Weise vom oder zum longitudinalen Knotenpunkt, sondern ruhen entweder ganz oder wandern nur wie Sand zu einem Punkt der Savart'schen Spiralen.

Aus den bisher angegebenen Versuchen folgt schon, dass für das Zustandekommen der Bewegung vom oder zum longitudinalen Knotenpunkt, zwei Bedingungen erfüllt seyn müssen, einmal muss der Körper, der sich bewegen soll, eine bestimmte Form und Oberfläche haben, zweitens muss das Material eine bedeutende Elasticität wie Kork und Caoutchouc besitzen.

Eine solche ausreichende Elasticität besitzen aber nicht bloß die genannten Körper, sondern vor allen Dingen auch alle Sorten Papier oder Pappe, und man kann mit großer Leichtigkeit folgende Versuche machen:

8. Aus einem Stück Papier schneide man einen Ring, dessen innere Oeffnung etwas kleiner ist als der Durchmesser der zu benutzenden Glasröhre und schneide ihn dann von Innen so ein, wie in Fig. 4 Taf. VI gezeichnet. Schiebt man nun diesen Ring so auf das eine Ende der Glasröhre dass alle die kleinen eingeschnittenen Stücke nach dem freien Ende hinliegen, so wird der Ring beim Tönen sich sofort zum Knotenpunkt bewegen. Steckt man denselben jedoch so auf die Röhre, dass die eingeschnittenen Stückchen zum Knotenpunkt hinliegen, so wird der Ring beim Tönen sofort zum freien Ende bewegt und von demselben herabgeworfen werden.

9. Um dieselben Bewegungen hervorzubringen, ist es aber

gar nicht einmal nötig, daß ein Stück Papier so eingeschnitten sey wie in Fig. 4 und die Röhre in ihrem ganzen Umfange berühre; die Versuche gelingen ebensowohl und überraschender in folgender Weise. In irgend ein Stück Papier schneide man mit einem scharfen Messer irgend eine Oeffnung, z. B. ein gleichseitiges Dreieck, indem man beim Schneiden das Messer etwas schrägle, d. h. oben nach auswärts hält. Hängt man nun dies Dreieck so auf die Röhre, daß die Seite die beim Schneiden oben gelegen hat zum Knotenpunkt in der Mitte der Röhre gewendet ist, so wird das Dreieck mit ziemlicher Geschwindigkeit zu diesem Knotenpunkt beim Tönen eilen. Hängt man das Dreieck dann so auf die Röhre, daß die Seite die vorher dem Knotenpunkt zugewendet war, nach dem freien Ende hingewendet ist, so wird das Papier sofort zu dem freien Ende eilen. Die Bewegung ist also bedingt durch den Schnittrand des eingeschnittenen Dreiecks und zwar in folgender Weise. Erstens wird beim Schneiden der Schnittrand immer etwas durchgedrückt, sodann wird, wenn man das Messer, wie es gewöhnlich geschieht, oben etwas nach Außen hält, der Schnitt nicht senkrecht durch das Papier gehen, sondern schrägle. Dadurch wird das ganze eingeschnittene Loch ein dreiseitiger Conus, dessen breitere Basis auf der Seite liegt, die beim Schneiden oben gelegen. Gerade nun wie ein Korkring mit conischer Oeffnung in der Richtung nach der breiteren Basis hinwandert, ebenso wandert das Papier immer nach der größeren Basis des conischen Schnittes, also nach der Seite, die beim Schneiden oben gelegen hat.

10. Der Versuch mit Papier gelingt immer, sowohl mit kleinen Dreieckchen aus dünnem Briefpapier wie mit fußgroßen Stücken dicker Pappe, wenn man nur den Schnittrand richtig gestaltet. Man kann der Oeffnung im Papier auch jede beliebige Form geben, also etwa einen Kreis ausschneiden, so daß die Röhre beim Aufhängen nur oben in einem einzigen Punkt berührt wird.

11. Wird indessen der Schnittrand so umgestaltet, daß

er nach beiden Seiten gleiche Form hat, was etwa durch Ausschneiden mit der Scheere oder durch Glätten oder dergleichen geschehen kann, so zeigt das Papier die angegebene Bewegung nicht, sondern wandert auf der Röhre höchstens so weit, als auch ein Sandkorn wandern würde.

12. Schneidet man statt in Papier in ein dünnes Blech eine Oeffnung, deren Schnittrand auch noch so schräge ist, so wandert ein solches Blech doch nie wie das Papier je nach seiner Lage von oder zum Knotenpunkt.

— Es ergiebt sich also wiederum, daß für die Bewegungen eine gewisse Elasticität und eine gewisse Form der zu bewegenden Körper nöthig ist. Zu untersuchen bleibt nun, welcher Theil der Gesammtschwingung der tönenden Röhre es ist, der die Bewegungen hervorbringt und wie die betreffenden Oscillationen auf die Körper wirken. Da jedoch die Gesammtschwingungen einer longitudinal tönenden Röhre sehr viel complicirterer Natur sind als die eines Stabes, weil sich bei letzteren die spiralförmigen secundären Knotenlinien in alternirende gerade Querlinien auflösen, so wurden zunächst die mit Röhren angestellten Versuche mit longitudinal tönenden Stäben wiederholt.

Ein mehrere Fuss langer, 1 bis  $1\frac{1}{2}$  Zoll breiter Glasstreifen wurde in zwei Knotenpunkten eingeklemmt und durch Reiben zum Tönen gebracht. Auf denselben konnten dann die Körper, deren Bewegung untersucht werden sollte, gelegt werden.

13. Stücke von wenig elastischen Körpern, wie Holz, Metall, Glas oder dergleichen führten die Bewegungen von und zum Knotenpunkte nie aus, mochten sie eine Form haben, welche sie wollten. Ganz glatte, vollständig ebene Stücke mehr elastischer Körper, z. B. ganz ebene Stücke Kork zeigten ebenfalls jene Bewegungen nie. Alle diese Körper blieben beim Tönen entweder ganz ruhen oder wanderten nur zu der nächsten secundären Knotenlinie, zu der auch aufgestreuter Sand sich hin bewegt.

14. Wurde jedoch ein etwa einen Quadratzoll großes Stück Kork oder Caoutchouc auf den Stab gelegt, welches

auf seiner untern Fläche so sägenförmig eingeschnitten war, wie es in Fig. 5 Taf. VI im Querschnitt gezeichnet ist, so bewegte sich dies Stück mit großer Energie in der Richtung des Pfeiles in Fig. 5, mochte diese Richtung nun zum Knotenpunkt hin oder von demselben fortführen. Man konnte ein solches Korkstück noch sehr stark, etwa mit 200 Gr. beladen, ohne daß die Bewegung aufhörte. Es ist übrigens nicht durchaus nötig, daß das Korkstück so sägenförmig eingeschnitten sey, man braucht dasselbe nur an der unteren Seite rauh zu feilen und dann alle kleinen Rauhigkeiten nach einer Seite zu streichen, dann wandert das Stück immer mit diesem Strich. Doch ist die Energie der Bewegung nicht so groß als bei dem sägenförmig eingeschnittenen Stück. Giebt man dem Kork aber eine Form wie in Fig. 6 Taf. VI, so wandert derselbe durchaus nicht vom oder zum Knotenpunkt, sondern höchstens zu der nächsten Knotenlinie der transversalen Schwingungen.

15. Dieselben Versuche mit aufgehängten Papierstücken, die oben für die Röhren angegeben wurden, kann man mit demselben Erfolge auch mit tönenden Stäben anstellen. Doch eignen sich im ganzen für diese Versuche die Stäbe wegen ihrer scharfen Kanten nicht so gut als die Röhren. Für Stäbe gilt also dasselbe wie für Röhren; es ist für die Bewegungen nötig, daß die zu bewegenden Stücke sehr elastisch sind und die Richtung der Bewegung ist jedesmal durch die Form und Lage des Stücks bedingt.

Um nun zu einer mechanischen Erklärung der Bewegungen zu gelangen, ist es vor Allem nötig, zu wissen, ob die longitudinalen oder die transversalen Oscillationen die bewegende Ursache sind. Wie bloße longitudinale Schwingungen einen Körper, möge er nun eine Form haben welche er wolle, auf einem Stabe oder in einer Röhre fortbewegen sollten, ist gar nicht einzusehen. Leider ist man nicht im Stande, einen Stab nur longitudinal, ohne daß transversale Oscillationen zugleich mit vorhanden wären, tönen zu lassen, um die Unmöglichkeit der Bewegungen der Korke und dergl. unter dem alleinigen Einfluß longitudi-

naler Oscillationen experimental zu beweisen. Sehr wohl kann man aber zeigen, daß transversale Schwingungen allein genügen, die beschriebenen Bewegungen hervorzubringen, und damit ist die Annahme einer Mitwirkung der longitudinalen Oscillationen wohl hinreichend ausgeschlossen.

16. Man hänge einen Glas- oder Metallstab an zwei Stellen in Fäden so auf, dass derselbe horizontal liegt. Alsdann lege man auf denselben ein Korkstück, wie in Fig. 5 Taf. VI gezeichnet ist. Schlägt man nun vertical auf den Stab, so das derselbe tönt, oder streicht denselben vertical mit einem Bogen an, so wandert das Korkstück nicht etwa wie ein Sandkorn zum nächsten Knotenpunkt, sondern immer in der Richtung des Pfeiles in Fig. 5. Das Korkstück wandert dabei über alle Knotenpunkte fort, und wenn man statt den Stab in Fäden aufzuhängen, denselben in zwei Punkten von unten unterstützt, so kann man das Korkstück, trotzdem man den Stab mit mehreren Knotenpunkten tönen lässt, von einem Ende des Stabes zum andern wandern sehen.

Dieser Versuch beweist direkt, dass die transversalen Stöße auch bei den longitudinal tönenden Röhren und Stäben die bewegende Ursache seyn müssen. Der merkwürdige Umstand, dass diese Bewegungen sich über die transversalen Knotenlinien fortsetzen, soll sogleich besprochen werden, fürs Erste wird es nöthig seyn, zu zeigen, wie durch transversale Stöße überhaupt eine Bewegung zu Stande kommen kann, die nicht zu dem nächsten Knotenpunkt führt, sondern deren Richtung lediglich durch Form und Lage des bewegten Körpers bedingt ist.

Wenn ein sehr elastischer Körper, z. B. ein Stück Kork auf einer festen Unterlage ruht, und diese Unterlage gegen den Körper stößt, so werden zunächst die Theilchen, mit welchen derselbe auf der Unterlage ruht, zusammengedrückt. Sobald der Stoß aufhört, suchen die Theilchen ihre Gleichgewichtslage wieder anzunehmen und stoßen dabei ihrerseits auf die Unterlage. Da diese jedoch in Folge ihrer Festigkeit Widerstand leistet, wird der Körper in die Höhe bewegt. Die Richtung dieser Bewegung hängt einmal ab

von der Richtung des Stosses und zweitens von der Gestalt des gestossenen Körpers.

Betrachtet man nur Stöße, die normal zu der stossenden Oberfläche, also bei horizontaler Lage vertical sind, so ist klar, dass der gestossene Körper senkrecht in die Höhe geworfen wird, wenn seine Gestalt der Art ist, dass die Zusammendrückungen, die die Theilchen erfahren, ihrer Richtung und Grösse nach um die Richtung des Stosses so regelmässig vertheilt sind, dass die Resultante derselben und somit auch die Resultante des Rückstosses ebenfalls eine Verticale ist. Wenn der Körper aber eine zur Verticale unregelmässige oder unsymmetrische Form hat, werden die Zusammendrückungen, die die Theilchen erfahren, sich auch nicht regelmässig um die Verticale ordnen, und within kann die Resultante derselben, also auch die Resultante der Rückstosses nicht mehr senkrecht gegen die schwingende Fläche seyn, sondern muss eine Neigung gegen dieselbe haben. In Folge dessen wird der Körper geneigt gegen die Fläche in die Höhe geschnellt und kommt deshalb beim Herabfallen nicht wieder auf dieselbe Stelle zurück, sondern fällt etwas entfernt davon nieder in der Richtung, nach welcher seine Bewegung stattgefunden hat. Trifft ihn nun ein neuer Stoß, so wird er abermals etwas in jener Richtung fortgeschleudert und bei fortgesetzten Stössen wird er sich in jener Richtung continuirlich bewegen. Auf der Unterlage SS (Fig. 7, Taf. VI) wird ein gleichmässig elastisches Stück Kork AB bei wiederholten Stössen senkrecht in die Höhe geworfen werden, aber an seinem Platze beharren, ein Stück mit einem Querschnitt wie CD würde ebenfalls nur senkrecht in die Höhe geworfen werden, es ist aber klar, dass ein Stück EF nicht senkrecht, sondern schräge in der Richtung des beigezeichneten Pfeiles in die Höhe geworfen werden würde, also bei wiederholten Stössen sich auch in dieser Richtung bewegen würde.

Hiernach ist also ganz klar, weshalb auf einem transversal tönnenden Stab ein Stück Kork sich in der Richtung wie dieselbe in Fig. 5 durch einen Pfeil angedeutet ist, bewegt,

und finden überhaupt die sämtlichen angegebenen Versuche durch die dargelegte Betrachtung ihre Erklärung. Dafs die Erscheinungen auf longitudinal tönenden Stäben genau dieselben sind, wie auf transversal tönenden, obgleich man es hier eigentlich nicht mit Stöfzen zu thun hat die senkrecht zur Oberfläche sind sondern schief, zeigt, dafs die verticale Componente dieser schiefen Stöfze die überwiegend wirkende ist.

Wenn gleich es eigentlich kaum noch eines Beweises bedarf, dafs ein Körper sich auf einer stossenden Fläche bewegen mufs, wenn die Resultante der Zusammendrückungen gegen die Fläche geneigt ist, so lässt sich doch durch einen direkten Versuch zeigen, dafs bei einer einfachen Zusammendrückung in schräger Richtung eine solche Bewegung stattfindet.

In einem etwa einen Cubikzoll großen Klotz *AA* (Fig. 8, Taf. VI) wurde eine schräge Durchbohrung (*BB*) von etwa 10<sup>mm</sup> im Durchmesser gemacht, die eine Neigung von ungefähr 60° gegen die Grundfläche hatte. Dieselbe wurde oben mit einer Metallplatte *CC* verschlossen, in der sich ein kleines Loch befand. Durch dieses ging ein etwas dicker Draht (*E*), der am untern Ende ein Stückchen Holz (*D*) trug, welches genau in die Durchbohrung passte. Um den Draht war, so weit er sich in der Durchbohrung befand, eine Spiralfeder gewunden. Wurde dieser kleine Apparat nun auf einen tönenden Stab gelegt, und mit einem Gewicht belastet, so wurde dadurch die schräg in dem Klotz liegende Spiralfeder zusammengedrückt. Der Apparat bewegte sich auf einem longitudinal oder transversal tönenden Stabe immer nach der Richtung, nach der die Feder geneigt liegt.

Alle die Körper nun, die nach den obigen Versuchen jene Bewegungen von oder zum Knotenpunkt ausführen, haben eine solche Elasticität, dafs sie solche Zusammendrückungen erleiden und eine solche Form, dafs die Resultante der Zusammendrückungen eine Neigung gegen die schwingende Fläche hat. Zu bemerken ist dabei nur, dafs, weil die Zu-

sammendrückungen bei dem außerordentlich leichten Gewicht der Körper nur ganz an der untern Fläche stattfinden, auch ganz kleine Unregelmässigkeiten in der Form schon genügen, um die Bewegungen zu veranlassen, wie z. B. bei einem rauh gefeilten Kork oder bei dem schrägen Schnittende eines Stückes Papier. Ein Kork, der sich in einer Röhre befindet, kann freilich nicht eigentlich in derselben fortgeschleudert werden, derselbe wird vielmehr in der Röhre nur parallel mit sich fortgeschoben durch die horizontale Componente des Rückstosses, der ihn, wenn er frei läge, schräge in die Höhe schleudern würde.

Dass die gesamten Bewegungen wirklich durch die transversalen Stöfse der tönenden Röhren oder Stäbe hervorgebracht werden, ist nach dem Obigen wohl unzweifelhaft; bemerkenswerth bleibt aber dabei, dass sich die Körper trotzdem über die Knotenlinien der transversalen Oscillationen fortbewegen, in denen doch nach der gewöhnlichen Anschauung keine Bewegungen stattfinden. Nun ist aber bekannt, dass die Knotenlinien sowohl auf Stäben wie in Röhren beim Reiben und beim Anstreichen mit dem Bogen nie genau ihre Stellen bewahren. So lange der Stab *tönt*, hüpfst auch der Sand in den Knotenlinien und speciell in Röhren beobachtet man oft ein Verschieben des Sandes an einer Knotenstelle um mehr als einen halben Zoll. Außerdem berühren die bewegten Körper die tönenden Stäbe oder Röhren nicht in einer mathematischen Linie und empfangen deshalb immer noch Stöfse, wenn sie auf einer Knotenstelle ruhen, wenn auch wesentlich geringere als zwischen zwei Knotenpunkten. In Folge dessen ist auch die Energie der Bewegung in der Nähe eines Knotenpunktes wesentlich geringer als zwischen zwei derselben, aber jene geringen Stöfse genügen doch, um auch dort noch die Körper zu bewegen.

An den Knotenstellen der longitudinalen Oscillationen hören die Bewegungen auf Röhren und Stäben jedoch immer auf und die Körper werden nie über diese Knoten wegbewegt. Dies beweist, dass in diesen Knotenpunkten,

in denen keine longitudinalen Oscillationen stattfinden, auch keine transversalen Bewegungen vorhanden sind, und daraus lässt sich schliessen, dass überhaupt die Intensität der transversalen Oscillationen bei longitudinal tönenden Stäben an jeder Stelle des Stabes von der Größe der longitudinalen Bewegungen der Theilchen daselbst abhängt, mithin am größten ist zwischen zwei Knotenpunkten der Longitudinalschwingungen. Somit hängen die Bewegungen der Korkstücke indirekt auch von den longitudinalen Schwingungen ab, sie sind aber nicht, wie man nach dem vereinzelt stehenden Versuche des Herrn Prof. W. Weber allgemein angenommen zu haben scheint, durch dieselben hervorgebracht. Die bewegende Ursache sind lediglich die transversalen Oscillationen.

Die Kraft, mit der die Körper sich auf longitudinal tönen Stäben und Röhren bewegen, ist eine wesentlich grössere als diejenige, mit der dieselben auf transversal tönen Stäben wandern. Die bewegende Kraft der transversalen Oscillationen bei Longitudinaltönen ist außerordentlich gross, einmal in Folge der außerordentlichen Schnelligkeit, mit der jeder einzelne Stoß erfolgt, und dann in Folge der grossen Anzahl von Stößen, die in der Sekunde ausgeübt werden. Mit wie grosser Kraft ein Kork in einer longitudinal geriebenen Röhre bewegt werden kann, hat schon Weber, wie oben angegeben, durch Aufgießen von Wasser auf den Kork gezeigt. Die folgende Methode erlaubt in noch bequemerer Weise die Kraft dieser Bewegung für Röhren und Stäbe zu bestimmen. Man befestige an den Kork, der sich in einer Röhre oder auf einem Stabe bewegen soll, einen Faden, führe diesen über eine kleine Rolle, und hänge an das eine Ende desselben eine kleine Schale. In diese Schale kann nun nach Belieben Gewichte legen, die sodann der Kork bei seiner Bewegung mitziehen muss. Man kann die Gewichte allmälig so weit vermehren, bis der Kork eben nicht mehr im Stande ist, die Schale mit denselben zu ziehen. Legt man auf einen Stab ein sägenförmig eingeschnittenes

Korkstück, wie in Fig. 5, Taf. VI, so kann man, wie schon oben angegeben, dasselbe noch bedeutend belasten, und es bewegt sich beim Tönen doch noch immer sehr gut. Je grösser die Belastung des Stückes ist, um so grösser ist natürlich auch das Gewicht, welches der Kork noch zu ziehen vermag. Es wurde öfter auf etwa 5 Fuß langen Glasstreifen das Korkstück mit 200 Gr. belastet und ebenso 200 Gr. in die Schale gelegt, und doch bewegte sich das Korkstück noch sehr wohl. Ein wie in Fig. 3 sägenförmig eingeschnittener Kork zog in einer tönen Röhre zuweilen sehr gut 70 Grm.

---

## II. *Einige Beobachtungen über das elektrische Licht in höchst verdünnten Gasen; von Prof. Dr. A. v. Waltenhofen.*

(Aus d. Sitzungsber. der k. Akad. der Wiss. Bd. Ll  
vom Hrn. Verf. mitgetheilt.)

---

„Es würde von ganz besonderem Interesse seyn“, sagt Plücker in einer seiner Abhandlungen über die elektrischen Gasspectren<sup>1)</sup>, „durch eine sorgfältige Beobachtung des Sauerstoffspectrums festzustellen, in welcher Aufeinanderfolge die einzelnen prismatischen Farben verschwinden, während der elektrische Lichtstrom aus dem Grunde langsam erlöscht, daß er, beim allmählichen Fortgehen des Sauerstoffgases, keine hinreichende Menge von ponderabler Materie mehr findet, die ihm als Träger dienen könnte.“ — Es werden ferner gewisse Erscheinungen der elektrischen Entladung im Sauerstoffe besprochen, welche den Schluss begründen, daß die *weniger brechbaren Strahlen zuerst wegfallen*. — An einer andern Stelle<sup>2)</sup> kommt Plücker auf diesen Gegenstand zurück, indem er das Zutreffen der

1) Pogg. Ann. Bd. 105, S. 79.

2) Pogg. Ann. Bd. 116, S. 51 — 54.

eben erwähnten Folgerung an dem bei äußerster Verdünnung eintretenden Erblassen und endlichen Erlöschen der Linie  $H\alpha$ , während  $H\beta$  noch hell bleibt, nachweist und schließlich andeutet, wie sich in den Verdünnungsgraden, bei welchen das elektrische Licht in der Luft immer mehr verschwindet, Anhaltspunkte zur Beurtheilung der *Höhengränze des Nordlichtes* finden lassen. — Hierbei wird bemerkt, dass nach einer vorläufigen Messung etwa bei einem Barometerstande von 0,3 Millim. das Licht in der Luft zu verschwinden anfange, und bei 0,1 Millim. vollständig verschwunden sey; — dass jedoch die Höhe (von etwa 9 Meilen), welche sich hieraus für die obere Gränze des Nordlichtes ergeben würde, *bedeutend hinter derjenigen zurückbleibt*, welche, nach vorliegenden Beobachtungen eines solchen Meteors sich herausgestellt hat.

Ich hatte Gelegenheit sowohl über das successive Verschwinden der Spectrallinien, als auch über hohe Verdünnungsgrade, bei welchen Gase noch als Träger der elektrischen Entladung fungiren können, einige Beobachtungen zu machen, die ich in Anbetracht der so eben hervorgehenden Wichtigkeit dieser Frage in Kürze mittheile.

I. Aus Anlass einer anderen Untersuchung hatte ich die Entladung eines Inductoriums in der Art veranstaltet, dass gleichzeitig die Spectra von Stickstoff, Wasserstoff und Quecksilber auftraten. Die dabei benutzte Quecksilberluftpumpe von Kravogel gestattete die Anwendung von außerordentlichen Verdünnungen, und es war mir von Interesse, die Einwirkung derselben auf die vorgenannten drei Spectren bei dieser Gelegenheit zu beobachten,

Als die Barometerprobe<sup>1)</sup> unter 1 Millim. zu sinken

- 1) Die Stände der Barometerprobe werden hier angegeben, weil sie eben abgelesen und notirt worden sind, nicht aber als einigermassen verlässliche Angaben der Verdünnungsgrade. Ich habe mich durch directe Versuche mit meinem in Dingler's Joural (1862) beschriebenes Apparate genügend überzeugt, dass die Angaben von Barometerproben gewöhnlicher Construction bei hohen Verdünnungen bis zur vollständigen Unbrauchbarkeit unzuverlässig sind; aus naheliegenden Gründen deren Erörterung nicht hierher gehört.

begann, war der über die rothe Wasserstofflinie ( $H\alpha$ ) hinausragende Theil des Stickstoffspectrums bereits nicht mehr wahrzunehmen, und es verschwanden nach und nach auch die innerhalb der Linie  $H\alpha$  befindlichen Streifen, so dass bei einem Barometerstande von etwa 0,5 Millim. die mindest brechbaren Theile des Stickstoffspectrums bis nahe an die Gränze von Gelb erloschen. Bei fortgesetzter Verdünnung ging die Niveaudifferenz in der Barometerprobe (obgleich dieselbe sorgfältig ausgekocht war) aus dem positiven Sinne in den negativen über. Bei diesem Uebergange waren alle zwischen den Linien  $H\alpha$  und  $Hg\alpha^1$ ) gelegenen Streifen des Stickstoffspectrums fast spurlos verschwunden.

So weit wäre der Verlauf der Erscheinung ganz im Einklang mit der Erwartung, dass die Spectralstreifen mit zunehmender Brechbarkeit später erlöschen; aber der violette Theil des Stickstoffspectrums zeigte eine von dieser Regel abweichende Ausnahme, indem er — ziemlich gleichzeitig mit Gelb — früher verschwand als die grünen und blauen Partien, die noch lange fortleuchteten, obgleich nicht mehr mit kenntlicher Färbung, sondern mit einem fahlen aschgrauen Lichte, welches erst bei viel höherer Verdünnung gänzlich erlosch. Dabei zeigten sich, bis zum Momente des Erlöschen, im blauen Theile die Streifen noch immer deutlich, während sie im grünen Theile bereits spurlos verschwunden waren; dieser letztere Theil des Spectrums hatte sich schon früher in einen undeutlich begränzten grünen Raum ohne bestimmte Schattirung verwandelt, und erschien zuletzt in einen aschgrauen schwachleuchtenden Nebel aufgelöst, der ungefähr von der Linie  $Hg\beta^2$ ) an bis zur Mitte des Intervalles zwischen  $Hg\beta$  und  $H\beta^3$ ) sichtbar war.

Mit zunehmender Verdünnung, während welcher die Barometerprobe einen negativen Stand, der zwischen 0,1

1) Gelbe Quecksilberlinie.

2) Grüne Quecksilberlinie.

3) Blaue Wasserstofflinie.

Millim. und 0,2 Millim. geschätzt wurde, angenommen hatte, sah man das Stickstoffspectrum *vollständig auslöschen*.

Von den beiden anderen Spectren wurde bei fortgesetztem Evacuiren zunächst das Wasserstoffspectrum angegriffen, indem erst die rothe ( $H\alpha$ ) und dann die violette Linie ( $H\gamma$ ) erlosch. Unterdessen war auch die gelbe Quecksilberlinie ( $Hg\alpha$ ) auf einen schwachleuchtenden fahlen Streifen reducirt worden, der alsbald ebenfalls verschwand. Von den übrig gebliebenen Linien  $H\beta$ ,  $Hg\beta$  und  $Hg\gamma$ <sup>1)</sup> konnte keine mehr *einzel* zum Verschwinden gebracht werden; sie verschwanden merklich gleichzeitig als bei einer Verdünnung, die sich bei näherer Untersuchung<sup>2)</sup> als eine 24,000 malige herausstellte, das erreichte Vacuum keine sichtbare Entladung mehr vermittelte.

Während dieser Vorgänge wurden auch an der die Entladung leitenden glühenden Gassäule merkwürdige Veränderungen beobachtet, bei deren Mittheilung ich jedoch bereits bekannte Erscheinungen unerwähnt lasse, wie z. B. die Farbenunterschiede im engeren und weiteren Theile des Rohres<sup>3)</sup> und die Farbenänderungen bei zunehmenden

1) Violette Quecksilberlinie.

- 2) Nach der Methode, die ich in meinem Aufsatze: »Ueber die Leistungen der Kravogl'schen Quecksilberluftpumpe« (Dingler p. J. 1862) beschrieben habe.
- 3) Bei diesen Versuchen diente nämlich der Apparat, dessen Beschreibung und Zeichnung der in der vorigen Anmerkung citirte Aufsatze enthält; bestehend aus einem weiten und einem engen Rohre, die durch Einkeiten in eine passende Stahlfassung vereinigt sind; die andere Mündung des weiten Rohres ist mit einer an die Luftpumpe zu schraubenden stählernen Hahnfassung versehen, die des engen Rohres aber durch ein eingekittetes stählernes Stöpselchen, welches zugleich als Elektrode verwendbar ist, verschlossen. — Da dieser Apparat vermöge seiner ursprünglichen Bestimmung oft mit Quecksilber gefüllt worden war (weshalb denn auch sämtliche Fassungen aus Stahl hergestellt wurden), so sind kleine Quecksilbertropfchen darin zurückgeblieben, — und diese waren es eben, welche bei den hier beschriebenen Versuchen stets ein so intensives Quecksilberspectrum entstehen ließen. — Uebrigens sey bemerkt, daß sämtliche Spectralbeobachtungen an dem engen Rohre gemacht worden sind.

Verdünnungsgraden, soweit solche auch mit gewöhnlichen Luftpumpen erreichbar sind.

Der Lichtstrom im weiten Rohre hatte schon längst jede Spur von rothem Lichte verloren, und war in eine weißgeschichtete Säule übergegangen, als das enge Rohr noch röthlich-violettes Licht ausstrahlte. Dasselbe, offenbar vom Wasserstoff herrührend, überdauerte das vollständige Erlöschen des Stickstoffspectrums, und verschwand erst mit dem Aufhören der rothen Wasserstofflinie. Von nun an ward die Lichterscheinung auch im engen Rohre weißlich, nur in der Nähe der an diesem Rohre eingekitteten negativen Elektrode zeigte sich bis zum gänzlichen Aufhören der Entladung, grünes Licht. Eine ähnliche grüne Lichterscheinung, jedoch viel weniger intensiv, zeigte sich an der Stelle, wo das enge Rohr in die Verbindung mit dem weiten Rohre eingekittet ist.

Nachdem das Stickstoffspectrum bereits erloschen, und bei fortgesetzter Verdünnung auch die beiden anderen Spectra schon angegriffen waren, machte sich alsbald ein veränderter Gang des Hammers am Inductorium bemerkbar, und gleichzeitig zeigten sich sehr auffallende Erscheinungen im Lichtstrome, welche andeuteten, daß man der Gränze eines die Entladung nicht mehr vermittelnden Vacuums nahe gekommen war. — Die hellen Schichtungen des Lichtstromes, welche mittlerweile immer mehr weiß erschienen und weiter aus einander gerückt waren, indem sie zugleich statt der linsenförmigen immer mehr eine ringförmige Gestalt angenommen hatten, traten jetzt nur intermittirend auf, und verloren sich endlich ganz in eine *continuirliche*, aber schwachleuchtende stahlgraue Lichtsäule; worauf dann auch diese immer häufiger und länger intermittirte und zuletzt *ganz ausblieb*, — dabei war zu bemerken, daß die intermittirende schwache Lichterscheinung das Rohr nicht mehr ganz ausfüllte. — Als man dieser Verdünnung schon ziemlich nahe gekommen war, zeigten die in der grauen Lichtsäule bisweilen noch aufblitzenden Schichten oft eine *auffallende Helligkeit*.

Besonders merkwürdig sind andere Unregelmäßigkeiten, die ich bei sehr hoher Verdünnung an den Schichtungen wahrgenommen habe. — Es ist bekannt, dass dieselben bei zunehmender Verdünnung weiter aus einander rücken. — Ich habe nun beobachtet, dass diese Intervalle bei Verdünnungen, welche über die mit den gewöhnlichen Luftpumpen erreichbare Gränze weit hinausgehen, sehr auffallende Unregelmäßigkeiten zeigen, indem manche von den weissen Schichten der Lichtsäule bisweilen doppelt so weit von einander abstehen als andere. Ich habe bei dem beschriebenen Versuche dunkle Intervalle von etwa 1 Centimeter, und zugleich andere von 2 Centimeter neben einander gesehen; dabei war übrigens keine regelmässige Reihenfolge oder Vertheilung bemerkbar. Zugleich erschienen die hellen Schichten nicht mehr parallel, sondern zeigten kleine unregelmässige Neigungen. Wenn, wie oben erwähnt wurde, die hellen Schichten des Lichtstromes bisweilen mit auffallender Helligkeit intermittirten, war auch ein correspondierendes helleres Aufleuchten der Spectra des Wasserstoffs und des Quecksilbers bemerkbar, während das bereits erloschene Stickstoffspectrum nicht mehr zum Vorschein kam.

Wenn nach dem Auslöschen aller Spectra allmählich Luft eingelassen wurde, traten die Lichtstreifen in umgekehrter Reihenfolge, als wie sie verschwunden waren, wieder auf, wie vorauszusehen war.

Uebrigens möchte es wohl sehr schwierig seyn, für jedes einzelne Spectrum die Reihenfolge, in welcher die Lichtsorten desselben successive ausgelöscht werden, mit Sicherheit festzustellen, indem es dabei auf die relative Helligkeit derselben ankommt. — Es kann deshalb aus dem scheinbaren Erlöschen schwächerer Spectrallinien, während hellere noch sichtbar bleiben, nicht auf das wirkliche frühere Aufhören der ihnen entsprechenden Lichtoscillationen geschlossen werden. So kann denn auch das oben erwähnte frühere Verschwinden des Violett im Wasserstoffspectrum<sup>1)</sup>

1) Von derselben Erscheinung im Stickstoffspectrum wird später die Rede seyn.

keineswegs zur Widerlegung der Annahme dienen, dass die weniger brechbaren Lichtoscillationen zuerst aufhören. Anderseits gewinnt diese Annahme vielmehr in hohem Grade an Wahrscheinlichkeit, wenn man erwägt, dass in allen drei Spectren, von welchen oben die Rede war, in der That die am wenigsten brechbaren Streifen zuerst erloschen, und dies sogar bei der Linie  $H\alpha$  der Fall war, ungeachtet ihrer grossen und im Vergleiche mit der schwachen  $H\gamma$  so weit überlegenen Lichtintensität<sup>1</sup>).

Bei gleichzeitiger Anwesenheit mehrerer Spectra müssen die Helligkeitsverhältnisse auch den Ausschlag geben, welches von den vorhandenen Spectren zuerst angegriffen oder wohl gar ganz ausgelöscht wird<sup>2</sup>). — Ich kann dafür auch einen directen Versuch anführen.

II. Ein an beiden Enden mit messingenen Hahnfassungen versehenes Thermometerrohr, in welchem feine Platin-drähte als Elektroden dienten, wurde an der Luftpumpe angebracht und in der Weise mit getrockneter Luft gefüllt, dass man einen durch Chlorcalcium geleiteten Luftstrom mittelst der Pumpe durchzog, bis man annehmen konnte, dass sowohl das Rohr als auch die damit communicirenden Räume der Pumpe trockene Luft enthielten. — Als das so vorbereitete Rohr sodann evakuirt und die Entladung eingeleitet wurde, erschien neben dem Stickstoffspectrum noch

1) Es erlischt nämlich: wie oben gesagt wurde, erst  $H\alpha$ , dann  $H\gamma$  und zuletzt  $H\beta$ .

2) Auf die Änderung dieser Helligkeitsverhältnisse der vorhandenen Spectra im Laufe des Versuches hat natürlich auch der Umstand Einfluss: welches Gas bei der Verdünnung leichter fortgeführt wird. So bemerkt Plücker (Pogg. Ann. Bd. 116, S. 51), dass bei Anwendung von Luft und Kohlensäure, wenn auch nur die geringsten Spuren von Wasser in der Röhre zurückgeblieben sind, bei der Verdünnung Kohlensäure und Luft leichter fortgeführt zu werden scheinen, als der beim durchgehenden Strome Wasserstoff gebende Wasserdampf, der am Glase condensirt ist und sich schwer von demselben ablöst. — So tritt denn endlich ein Moment der Verdünnung ein, wo die Spectralanalyse nur noch die Streifen des reinsten Wasserstoffgases giebt. — Träger der Entladung ist dann Wasserstoff allein; das ursprüngliche Gas ist nur bis zu einem gewissen Grade der Verdünnung Träger der Entladung geblieben.

ein lichtschwaches Wasserstoffspectrum, welches erkennen ließ, daß die Austrocknung noch nicht vollständig erzielt war; und auch ein Quecksilberspectrum von geringer Helligkeit, herrührend von dem Umstände, daß das Rohr mit einem Quecksilber haltenden Pumpenstiel communizirte.

Bei fortgesetzter Verdünnung kamen die Linien  $H\alpha$  und  $H\gamma$  sogar früher zum Erlöschen<sup>1)</sup> als die violetten Streifen des Stickstoffspectrums, und die Linie  $Hg\alpha$ , während beim vorigen Versuche das Wasserstoffspectrum, wegen seiner größeren Intensität, dasjenige war, welches zuletzt angegriffen wurde. — Das gänzliche Erlöschen der Spectra konnte bei diesem Versuche nicht zu Stande gebracht werden, aus einem später angegebenen Grunde.

III. Ein dritter Versuch wurde in einem zwei Centimet. weiten und 120 Centimet. langen Rohre gemacht, welches einmal mit atmosphärischer Luft und ein anderes Mal mit Leuchtgas zur Anwendung kam. — Wegen der viel größeren Länge des Rohres im Vergleiche mit dem beim ersten Versuche benutzten (71 Centim.) hatte ich erwartet, daß es noch leichter gelingen würde, das Aufhören der Entladung herbeizuführen. Der Erfolg ergab jedoch das Gegenteil; weder bei Anwendung von atmosphärischer Luft noch von Leuchtgas gelang es die Lichtsäule erlöschen zu machen, dieselbe war sogar bei mehr als 20,000fachen Verdünnungen noch nicht einmal intermittirend geworden.

Bemerkenswerth war die Lichterscheinung beim Leuchtgase. Die weißen Schichten der Lichtsäule, anfangs wie

1) Dieses Ergebnis ist nicht ausgeschlossen durch die in der vorigen Anmerkung besagte Angabe von Plücker: daß in der Regel die Spuren von Wasserstoff länger zurückbleiben als die Luft (Stickstoff); es beweist eben nur, daß im vorliegenden Falle die Austrocknung der Luft vollständiger bewirkt worden ist, als es in der Regel zu gelingen pflegt. — Bei diesem Versuche ist denn auch die Vorsicht beobachtet worden, die Luftpumpe keinen Augenblick mit der äußeren Luft communiciren zu lassen; die ausgetrocknete Luft wurde vielmehr in den zuvor evakuierten und mit Chlorcalcium ausgetrockneten großen Ballon übergeführt, welcher der benutzten Luftpumpe für gewisse Zwecke beigegeben ist. (Siehe die Beschreibung Sitzungsberichte Bd. 44.)

flache linsenförmige Scheibchen über einander gelagert, rückten bei fortgesetzter Verdünnung nicht nur immer weiter aus einander, sondern wuchsen zugleich an Dicke, indem sie dabei immer mehr die Gestalt von cylindrischen Scheiben annahmen, welche bei sehr hoher Verdünnung, etwa 1 Centim. dick, durch eben so grosse dunkle Intervalle getrennt waren. Bei zunehmender Verdünnung verloren die Ränder immer mehr ihre deutliche Begrenzung, und die hellen Schichten lösten sich in dieser Weise allmälig in einen continuirlichen Lichtstrom von geringerer Helligkeit auf.

Es mögen nun einige allgemeine Bemerkungen über die angeführten Versuche folgen; dabei sollen die bei den Versuchen I, II und III benutzten Röhren, der Kürze wegen, ebenfalls beziehungsweise mit I, II und III bezeichnet werden.

Dafs bei den Versuchen II und III das Auslöschen der Spectra durch fortgesetzte Verdünnung nicht gelang, wohl aber jedesmal bei den Versuchen I, findet seine Erklärung in der verschiedenen *Form der Elektroden*. — Während nämlich bei den Röhren II und III Drahtspitzen als Elektroden dienten, geschah die Entladung im Rohre I zwischen einem am oberen Ende eingekitteten, etwa 1 Millim. dicken stumpfen Drahtstifte und der am unteren Ende angebrachten Hahnfassung.

Aus den beschriebenen Versuchen ergeben sich nachstehende Folgerungen.

*Erstens.* Von jedem einzelnen Spectrum erloschen — in Uebereinstimmung mit der von Plücker aufgestellten Regel — bei hinreichender Verdünnung die weniger brechbaren Streifen früher als die brechbareren; und es ist wahrscheinlich, dafs sich diese Reihenfolge bewährt, so weit nicht eine zu geringe relative Helligkeit brechbarer Spectrallinien scheinbare Ausnahmen bedingt.

*Zweitens.* Wenn mehrere Spectra gleichzeitig auftreten, ist die Reihenfolge, in welcher sie bei zunehmender Verdünnung angegriffen oder wohl gar ausgelöscht werden, von

*den relativen Intensitäten der vorhandenen Spectra und insofern von dem Mischungsverhältnisse des glühenden Gasgemenges abhängig.*

Diese beiden Sätze scheinen mir auch für die Chemie nicht ohne Bedeutung zu seyn. Unter Voraussetzung derselben würde sich nämlich in gewissen Fällen über die *Zusammengesetztheit* eines gasförmigen Körpers entscheiden lassen. — Wenn sich z. B. in einem bei fortgesetzter Verdünnung beobachteten Spectrum zeigen würde: dass eine Spectrallinie von grösserer Brechbarkeit, selbst bei gleicher oder grösserer Helligkeit im Vergleiche mit einer anderen weniger brechbaren, dennoch früher verschwindet als diese, so wäre damit offenbar die Zusammengesetztheit des untersuchten Gases angegedeutet, indem man — um diese Erscheinung mit den obigen Sätzen in Einklang zu bringen — das beobachtete Spectrum als *eine Uebereinanderlagerung mindestens zweier Spectra* betrachten müfste, welche *verschiedenen materiellen Trägern der Entladung angehören*<sup>1)</sup>.

Drittens ergiebt sich aus den obigen Versuchen, *dass die Schichtungen des elektrischen Lichtes*, welche bei zunehmender Verdünnung zunächst immer weiter aus einander rücken und anwachsen, *bei noch höheren Verdünnungen unregelmässig und intermittirend werden, und dann allmälich verschwinden, indem sie sich in einen continuirlichen Lichtstrom auflösen, der endlich selbst erlischt.*

Die überraschende Ausdehnung, welche die Schichtenintervalle bei sehr hohen Verdünnungen gewinnen, macht die weitere Untersuchung wünschenswerth: ob bei so hohen Verdünnungsgraden in einzelnen Fällen nicht auch dort Schichten auftreten, wo man bisher noch keine bemerken

1) Wenn schon der Farbenreichtum des Stickstoffspectrums im Vergleiche mit anderen Gasspectren auffallend ist, so ist es noch mehr das frühere Erlöschen der violetten Streifen im Vergleiche mit manchen weniger brechbaren, von kaum grösserer Helligkeit. Dieser Umstand lässt, nach dem so eben Gesagten, *die Einfachheit dieses Körpers sehr zweifelhaft erscheinen*. — Dagegen wäre man beim Wasserstoff durch das frühere Erlöschen von  $H\gamma$  im Vergleiche mit der viel helleren  $H\beta$  keineswegs zu einer ähnlichen Vermuthung berechtigt.

konnte<sup>1</sup>), indem entweder unter dem Einflusse der elektrischen Entladung eine Zerlegung eines für einfach gehaltenen Gases stattfinden könnte, dessen Bestandtheil dann — im Sinne der Hypothese von Reitlinger — nach Maafsgabe ihrer verschiedenen Leitungsfähigkeit die Schichten bilden, — oder sey es, daß in manchen Fällen erst bei sehr hohen Verdünnungen jene stellenweisen Discontinuitäten eintreten, welchen Rieß die Schichtenbildung zuschreibt.

Der Gedanke an eine Zerlegung der erwähnten Art wird auch durch die Erwägung nahe gelegt, daß das stromleitende Gas bei zunehmender Verdünnung bis zu einer gewissen Gränze nothwendig auch höhere Temperaturen annehmen muß, weshalb denn auch die in immer geringerer Anzahl auftretenden Schichten immer mehr weifsglühend erscheinen, bis jene oben beschriebenen Erscheinungen eintreten, welche dem Aufhören der Entladung in einem nicht mehr leitungsfähigen Vacuum vorausgehen.

Viertens zeigen die obigen Versuche, daß die Verdünnung, bei welcher die Entladung erlischt, auch von der Wahl der Elektroden abhängt, und daß, wenn die Entladung zwischen Spitzen eingeleitet wird, dieselbe auch bei mehr als zwanzigtausendfacher Verdünnung nicht aufhört<sup>2</sup>). — Man kann dieses Ergebniss wohl überhaupt auf solche Fälle ausdehnen, wo man es mit Elektroden zu thun hat, welche das Ueberströmen der Elektricität in einer der Spitzenwirkung analogen Weise begünstigen, wie z. B. fein zertheilte Körper von entsprechender Leitungsfähigkeit.

Man sieht aus den angeführten Thatsachen, daß das bei einem gewissen Verdünnungsgrade beobachtete Erlö-

1) Z. B. bei einfachen Gasen. Siehe Reitlinger, »Ueber die Schichtung des elektrischen Lichtes« (Sitzungsberichte Bd. 43, II, S. 21).

2) Wenn Plücker bemerkt, daß nach einer vorläufigen Messung, etwa bei einem Barometerstande von 0,3 Millim. das Licht in der Luft zu verschwinden anfängt und bei 0,1 Millim. vollständig verschwunden ist (Pogg. Ann. Bd. 116, S. 53), so muß man wohl annehmen, daß bei dem betreffenden Versuche keine Spitzen als Elektroden gedient haben dürfen.

schen des elektrischen Lichtes nicht unbedingt zur Folge  
rung berechtigt, *dafs das angewendete Gas bei diesem Ver-*  
*dichtungsgrade nicht mehr fähig sey als Träger der Entla-*  
*dung zu dienen*, da die Beschaffenheit der Leiter, welche  
die Gassäule (als Elektroden) begrenzen, *den Uebergang*  
*der Entladung in das Gas* bald mehr und bald weniger  
leicht vermitteln<sup>1)</sup>. — Könnte man eine Luftsäule von  
20,000 maliger Verdünnung, — welche in den beschriebe-  
nen Versuchen bei Anwendung von stumpfen Elektroden  
nicht mehr, wohl aber zwischen Spitzen die Entladung auf-  
genommen hat — ohne ihren Verdünnungsgrad zu ändern,  
mit einer andern Gassäule, *in welcher eine Entladung be-*  
*reits eingeleitet ist, in unmittelbare Communication setzen*:  
ohne Zweifel würde sich diese Entladung auch in jene  
Luftsäule verbreiten. — Wendet man das Gesagte auf die  
Atmosphäre an, so wird man zu dem Ergebnisse gelangen  
müssen: *dafs auch in die Region der 20,000 mal verdünnten*  
*Luft elektrische Entladungen, welche in untern Schich-*  
*ten ihren Ursprung haben, sich verbreiten können; ja, sehr*  
*wahrscheinlich sogar in noch viel höhere, wenn man die*  
*obigen Versuche in nähere Erwägung zieht.* — Die mehr  
als 20,000fach verdünnte Luft hatte zwischen Spitzen die  
Entladung noch so vollständig vermittelt, *dafs kein Inter-*  
*mittiren der Lichtsäule, und überhaupt kein Vorzeichen*  
*eines die Leitung versagenden Verdünnungsgrades einge-*  
*treten ist.* — Man kann daher wohl annehmen, *dafs erst*  
*viel höhere Verdünnungen* zu dem Punkte führen würden,  
wo die Entladung *deshalb aufhört, weil die Luft nicht mehr*  
*fähig ist als deren Träger zu fungiren.*

Mit Rücksicht auf die Umstände, unter welchen die elek-  
trischen Entladungen, die das *Nordlicht* verursachen, in der  
Atmosphäre vor sich gehen, wäre nach dem Gesagten  
wohl vorauszusetzen: *dafs die Gränze der Erhebung, über*  
*welche hinaus die Verdünnung der Luft solche elektrische*

1) In wie fern es dabei auch auf die Spannungsintensität des Inductoriums  
ankommt, bedürfte noch näherer Untersuchungen.

Lichtströmungen nicht mehr gestatten würde<sup>1)</sup>, weit über jene reichen müsse, die man gewöhnlich als »Höhe der Atmosphäre« anzunehmen pflegt<sup>2)</sup>). — Diese Annahme wäre denn auch vereinbar mit den Beobachtungen des Nordlichtes, wovon Plücker in der citirten Abhandlung erwähnt.

---

**III. Quantitative Bestimmung der bei Volumveränderung der Metalle entstehenden Wärmephänomene und des mechanischen Wärme-Aequivalents, unabhängig von der inneren Arbeit des Metalls; von E. Edlund.**

(Gelesen in d. K. Akad. d. Wiss. zu Stockholm am 10. Mai 1865.)

---

**I.**

In einer früheren Arbeit<sup>3)</sup>) habe ich nachgewiesen, daß, wenn bei einem Metall das Volumen durch äußere Kräfte innerhalb der Elastizitätsgränze vergrößert wird, sich dessen Temperatur vermindert, und daß, wenn das Metall sodann sein ursprüngliches Volumen wieder einnimmt, dessen Temperatur steigt; die Untersuchung erwies aber zugleich, daß die Größe des Temperaturzuwachses in letzterem Falle davon abhängig ist, ob das Metall bei der Zusammenziehung irgend eine äußere mechanische Arbeit verrichtet, oder nicht. Die in diesem Falle entstandene Wärme ist somit verschieden, je nach der verschiedenen

1) Zufolge der von Plücker (Pogg. Ann. Bd. 116, S. 53) gegebenen Andeutungen etwa 9 Meilen; wenn man nach der Formel  $346,023 \frac{h}{R}$

$= \log \frac{B}{b}$  rechnet, wobei  $h$  die Höhe,  $R$  den Erdhalbmesser,  $B$  und  $b$  beziehungsweise den unteren und oberen Barometerstand bedeuten.

2) Nach Dämmerungsbeobachtungen berechnet kaum 10 Meilen.

3) Pogg. Ann. Bd. 114, S. 1.

Weise, in welcher die Volumverminderung bewerkstelligt wird. Diejenigen Metalle, die in dieser Beziehung untersucht wurden, waren in Drahtform, und die Volumveränderung geschah durch Streckung der Drähte. Zu diesem Zwecke war das obere Ende des Drahts in einen, von einem dicken eichenen Balken ausstehenden, eisernen Arm fest eingeschraubt, und das untere Ende desselben war in einem beinahe horizontal liegenden Arm eines Hebelarms befestigt. Der Draht wurde in der Weise gespannt, daß man ein Gewicht von der Axe des Hebelarms bis zu dessen äußersten Endpunkt führte, und er nahm sein ursprüngliches Volumen wieder ein, so bald das Gewicht vom Endpunkt des Hebelarms bis zur Axe zurückgeschoben ward. Es ist klar, daß, wenn man die Volumveränderung auf diese Weise bewerkstelligt, die äußere mechanische Arbeit, die bei der Streckung des Drahts angewandt wird, ebenso groß ist, wie die äußere Arbeit, die von dem Drahte bei der Zusammenziehung verrichtet wird. Die Versuche erwiesen, daß die Temperaturabnahme in jenem Falle genau eben so groß ist, wie in letzterem der Temperaturzuwachs, so wie proportional mit dem spannenden Gewicht. Man erhält demnach, wenn  $x$  die Temperaturvariation des Drahts und  $p$  das spannende Gewicht bezeichnet,  $x = \pm ap$ , wo  $a$  ein Factor ist, der für ein und dasselbe Metall constant ist, aber seinen Werth verändert, wenn man von einem Metall zu einem andern übergeht. Wenn dagegen das untere Ende des gespannten Drahts ganz vom Hebelarm los gemacht wird, so zieht sich der Draht ohne Verrichtung äußerer mechanischer Arbeit zusammen; seine Moleküle kommen zu ihren respectiven ursprünglichen Gleichgewichtslagen mit Beschleunigung an und oscilliren um dieselben herum. In diesem Falle wird mehr Wärme entbunden, als wenn die Zusammenziehung auf die zuerst beschriebene Weise geschieht, und dieser Ueberschufs an Wärme ist der im ersten Falle vom Draht verrichteten Arbeit proportional. Da nun, wie die Versuche dargethan haben, die Streckung des Drahts dem spannenden Gewicht pro-

portional ist, so ist leicht zu beweisen, daß diese Arbeit dem Quadrat desselben Gewichts proportional seyn muß. Man hat demnach für den Temperaturzuwachs in diesem Falle die Formel

$$x = ap + bp^2;$$

wo  $b$  ebenfalls ein constanter Factor ist.

Bei der genannten Untersuchung wurden die absoluten Werthe von  $a$  und  $b$  nicht bestimmt. Der Zweck jener Untersuchung war nur, die Gesetze der bei Volumveränderung der Metalle entstehenden Temperaturvariationen zu ermitteln. Da jedoch die Kenntniß der absoluten Werthe dieser Constanten von Gewicht ist für die Controle der Resultate der mechanischen Wärmetheorie, so wie für die Bestimmung des mechanischen Aequivalents der Wärme und der inneren Arbeit bei Volumveränderung fester Körper, so werde ich im Folgenden die Versuche, welche ich zur Ermittelung dieser Constanten angestellt habe, so wie auch einige der Resultate, die aus der Kenntniß ihrer Werthe hergeleitet werden können, mittheilen.

## 2.

Der Apparat, welcher bei diesen Untersuchungen zur Streckung der Metalldrähte angewandt wurde, war derselbe, welcher bei meinen früheren Versuchen den nämlichen Dienst geleistet hatte. Dieser Apparat ist folgendermassen construit: Ein dicker eichener Balken, der an einen festen Pfeiler im Zimmer vertical festgeschraubt ist, trägt an seinem obern Ende einen hervorstehenden eisernen Arm, worin das obere Ende des Drahts fest eingeschraubt wird. Ungefähr 590 Mllm. weiter unten ist eine horizontale Axe von Messing an dem Balken angebracht. Um diese Axe bewegt sich ein einarmiger Hebel, dessen obere Seite vollkommen eben ist. Dieser Hebel wird durch ein auf der andern Seite der Axe befindliches Gewicht in Gleichgewicht gehalten. Auf diesem Hebel ist ein messinger Träger, der zum Tragen der Spannungsgewichte bestimmt ist, so angebracht, daß er mittelst einer kleinen Rolle hin- und hergeschoben werden kann. Am unteren

Ende des Drahtes wird eine stählerne Klemme, worin ein Loch gebohrt ist, festgeschraubt. Auf der dem eichenen Balken zugekehrten Seite ist der Hebel mit einer Gabel versehen, durch deren beide Zinken gleich grosse horizontale, einander gegenüber und winkelrecht gegen die Länge des Hebels stehende, Löcher gebohrt sind. Das untere Ende des Drahtes wird auf solche Weise am Hebel befestigt, dass die stählerne Klemme, nachdem der Draht darin festgeschraubt worden, in die oben erwähnte Gabel hineingebracht wird, so dass die Löcher sich einander gerade gegenüber befinden, worauf ein Stahlcylinder von der Vorderseite des Hebels durch das Loch gesteckt wird. Der Draht kann somit leicht vom Hebel getrennt werden, wenn dies erforderlich ist. Um den Winkel, welchen der Hebel bei der Streckung oder Zusammenziehung des Drahts beschreibt, genau messen zu können, ist der Hebel mit einem Spiegel, worin man mittelst eines Fernrohrs eine Scale beobachten kann, versehen. Um den Draht so viel als möglich gegen fremdartige Temperatureinflüsse zu schützen, wird derselbe von einem hölzernen Schrank, dessen Vorderseite aus einer Glashüt besteht, umgeben.

Zur Bestimmung der Temperaturvariationen wird am Draht eine thermoelektrische Säule angebracht. Bei den Versuchen, von denen hier die Rede ist, wandte ich eine Säule an, welche theilweise anders construit ist als diejenige, die für meine früheren Versuche diente. Die Construction dieser Säule ist die folgende: *a* und *a'* (Fig. 9 Taf. VI) sind zwei knöcherne Stangen, welche mittelst der Messingstücke *b* und *b'* zu einem Rectangel zusammengeschraubt sind. In diesen Messingstücken sitzen zwei hohle Cylinder aus Kupfer, *c* und *c'*, von denen *c* in *b* eingeschraubt ist; *c'* dagegen wird mittelst der Schraubenmutter *d* bei *b'* festgehalten und kann auf- und niedergeführt werden, weil das Loch in *b'*, wodurch *c'* geht, länglich ist. In den beiden hohlen Kupfercylindern *c* und *c'* werden die beiden Metalle, die die thermoelektrische Säule bilden und die auf beiden Seiten gegen den Draht *ee'*

drücken, eingebracht. Der kupferne Cylinder *c*, und zwar an dem von *ee'* entfernter Ende, hat auf der inneren Seite einen Schraubengang und in diesen wird die kupferne Schraube *g'*, deren Ende sich an das im Kupfercylinder liegende thermoelektrische Metall stützt, hineingeschraubt. Letzteres kann somit mittelst der Schraube *g'* hin- und herbewegt werden. In dieser wird, mittelst der Schraube *h*', der eine derjenigen Leitungsdrähte, die zum Magnetometer führen, festgehalten. In den Kupfercylinder *c* ist die kupferne Stange *g*, welche von den Stahlfedern *f* und *f'* gegen das in *c* befindliche thermoelektrische Metall gedrückt wird, eingesteckt. Um den Federdruck verändern zu können, hat *g* an einem Ende einen Schraubengang, so dass die Schraubenmutter *d*, gegen welche die Stahlfedern drücken, hin- und herbewegt werden kann. Die Stange *g* ist übrigens, ebenso wie *g'*, mit einer Klemmschraube *h* versehen, um den zweiten Leitungsdräht an dem Magnetometer zu befestigen. Die Stahlfedern *f* und *f'* waren ziemlich schwach, so dass der Druck gegen den Draht so unbedeutend war, dass die Säule nur so eben, ohne zu fallen, am Drahte fest saß, welches übrigens von einer, mittels einer Klemmschraube (*p*) am Drahte oberhalb der Säule befestigten, elastischen Kautschukschnur (*s's*) verhindert wurde. Mit dem schwächeren Druck ward beabsichtigt, denjenigen Theil des Drahts, der mitten unter den Säulenenden lag, nicht zu hindern, bei der Belastung eben so viel als die übrigen Theile, gestreckt zu werden. Der schwache Druck der Säulenenden gegen den Draht rief indefs den Uebelstand hervor, dass, sobald die Säule von einer Stelle zur andern auf demselben Draht, oder von dem einen Draht zum andern versetzt wurde, der Leitungswiderstand in der Bahn des thermoelektrischen Stroms, in Folge eines mehr oder weniger vollständigen Contacts, verändert ward. Der Widerstand in besagter Leitungsbahn musste demnach jedes Mal, wenn die Säule versetzt wurde, gemessen werden. Zu dem Ende ward der Leitungsdräht mehrfach auf einen hohlen messingenen Cylind-

der, welcher an einem Tische befestigt war, aufgerollt. In diesem Cylinder befand sich ein kleiner Stahlmagnet, der eine gewisse Strecke, der Länge des Cylinders nach, fortbewegt werden konnte. So bald dies geschah, entstand ein Inductionsstrom, welcher in dem Magnetometer einen Ausschlag, dessen Größe direct proportional dem Leistungsvermögen in der Strombahn war, verursachte. Selbstverständlich war der erwähnte Stahlmagnet so weit vom Magnetometer entfernt, daß keine merkbare directe Einwirkung derselben auf einander stattfand.

Zur Messung des thermoelektrischen Stroms ward das früher von mir bei mehreren Untersuchungen angewandte **Weber'sche Magnetometer** benutzt. Eine Veränderung ward jedoch mit demselben vorgenommen. Da die Entfernung des Magnetometers vom Fernrohr, womit die Bewegungen der Nadel wahrgenommen werden, groß ist, so ist die Einwirkung der Variationen in der Declination der erdmagnetischen Kraft sehr störend. Bei meinen früheren Versuchen war ich deshalb bisweilen genötigt, mit den Beobachtungen aufzuhören, und so lange zu warten, bis die Nadel ruhiger wurde. Um diese Unbequemlichkeit zu vermeiden, wurden die magnetischen Momente beider astatischen Nadeln so gleich als möglich gemacht, wodurch die Richtungskraft des Erdmagnetismus auf das Nadelsystem fast unmerkbar ward. Die erforderliche Richtungskraft wurde dadurch erzeugt, daß das Nadelsystem an einen feinen Silberdraht, dessen Torsion die erdmagnetische Richtungskraft ersetzte, aufgehängt wurde. Dass die Ausschläge fortfuhrten der Stromstärke proportional zu seyn, ward durch Versuche erwiesen.

### 3.

Die zur Streckung des Drahts angewandten Gewichte wurden in zwei Sekunden von der Axe des Hebels bis zum Endpunkt desselben, und in eben so kurzer Zeit von dort bis zur Axe zurück geführt. Die mittelst der Volumenveränderung im Draht verursachte Temperaturvariation entstand somit nicht augenblicklich, sondern in einer Zeit von

zwei Secunden; besondere Versuche erwiesen jedoch, dass, innerhalb der Gränzen der Beobachtungsfehler, eben der selbe Ausschlag stattfand, als wenn die Variation in einem einzigen Zeitmoment entstanden wäre. Es bedeute  $m$  die Richtungskraft der Torsion des Drahts, an dem das Nadelssystem hängt, dividirt durch das Trägheitsmoment des letzteren,  $q$  die Einwirkung des von dem Temperatur-Ueberschus  $1$  erzeugten thermo-elektrischen Stroms auf das Nadelssystem, und  $2n$  einen Factor, abhängig von der durch die dicke Kupferhülse und die Drahtschichten verursachten Dämpfung, diese beide letzteren Quantitäten gleichfalls durch das Trägheitsmoment dividirt; dann erhält man, wenn  $x$  den variablen Ausschlagswinkel,  $t$  die Zeit und  $v$  den Wärme-Ueberschuss zur Zeit  $t$ ,  $w$  das Gewicht des Drahts und  $c$  dessen Wärmecapacität bedeutet, wodurch  $\frac{v}{wc}$  der Temperatur-Ueberschuss wird, für die Berechnung der Bewegung des Nadelssystems:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -mx + q\frac{v}{wc} - 2n\frac{dx}{dt} \quad \dots \quad (1).$$

Der durch Ausstrahlung und Berührung mit der Luft entstandene Wärmeverlust ist, weil die Temperatur-Uebersüsse so unbedeutend sind, proportional mit dem Temperatur-Ueberschuss. Wenn  $a$  den Wärmeverlust während der Zeiteinheit beim Einheits-Wärmeüberschuss bedeutet, so hat man:

$$dv = -a\frac{v}{wc} dt,$$

woraus

$$v = v_0 e^{-\frac{at}{wc}} \quad \dots \quad (2);$$

wo  $v_0$  die Wärmemenge bedeutet, die durch die Volumenveränderung des Drahts zu Anfang der Oscillation sich entwickelt. Setzt man diesen Werth von  $v$  in die Gleichung (1), führt die Integration aus und bestimmt die Constanten so, dass  $x$  und die Geschwindigkeit ( $h$ ) gleichzeitig mit  $t = 0$  werden, so erhält man:

$$h = \frac{q v_0}{w c} \left\{ \frac{\frac{a}{w c}}{\frac{a^2}{w^2 c^2} - 2 \frac{a}{w c} n + m} \cos(t \sqrt{m-n^2}) e^{-nt} + \frac{\frac{m - \frac{a}{w c} n}{\sqrt{m-n^2} \left( \frac{a^2}{w^2 c^2} - 2 \frac{a}{w c} n + m \right)} \sin(t \sqrt{m-n^2}) e^{-nt} - \frac{\frac{a}{w c}}{\frac{a^2}{w^2 c^2} - 2 \frac{a}{w c} n + m} e^{-nt}} \right\} \quad . . . . . \quad (3)$$

$$x = \frac{q v_0}{w c} \left\{ \frac{e^{-nt}}{\frac{a^2}{w^2 c^2} - 2 \frac{a}{w c} n + m} + \frac{\frac{a}{w c} - n}{\sqrt{m-n^2} \left( \frac{a^2}{w^2 c^2} - 2 \frac{a}{w c} n + m \right)} \sin(t \sqrt{m-n^2}) e^{-nt} - \frac{\cos(t \sqrt{m-n^2}) e^{-nt}}{\frac{a^2}{w^2 c^2} - 2 \frac{a}{w c} n + m} \right\} \quad . . . . . \quad (4)$$

Die Zeit ( $T$ ) für einen Ausschlag erhält man aus der Gleichung (3), wenn man  $h = 0$  macht, und bekommt alsdann:

$$\cos(T \sqrt{m-n^2}) e^{-nT} + \frac{m - \frac{a}{w c} n}{\frac{a}{w c} \sqrt{m-n^2}} \sin(T \sqrt{m-n^2}) e^{-nT} - e^{-\frac{a}{w c} T} = 0 \quad (5)$$

Durch Elimination von  $\cos(T \sqrt{m-n^2}) e^{-nT}$  zwischen den Gleichungen (4) und (5) erhält man schliesslich:

$$\frac{x \frac{a}{w c} e^{-nT} \sqrt{m-n^2}}{\sin(T \sqrt{m-n^2})} = \frac{q v_0}{w c} \quad . . . . . \quad (6)$$

Die Quantität  $\frac{a}{w c}$  ist von der Grösse und der Beschaffenheit des Drahtes abhängig und variirt daher von dem einen Draht zum andern. Die Gleichung (5) zeigt, daß die Ausschlagszeit ( $T$ ) von  $a$  abhängig und demnach ebenfalls variabel ist. Will man also die Wärmemengen, die sich bei verschiedenen Metalldrähten entwickeln, wenn diese mit einer bestimmten Belastung gestreckt werden, mit einander vergleichen, so muß man nicht nur den Ausschlag  $x$ , sondern auch  $a$  und außerdem noch die Constanten  $m$  und  $n$  kennen, welche letztere jedoch denselben Werth beibehalten, so lange das Magnetometer unverändert bleibt. Was den Coëfficienten  $q$  angeht, so ist er ebenfalls unveränderlich, wenn man von einem Draht zum andern übergeht. Die thermo-elektromotorische Kraft war bei diesen Versuchen von zwei Constanten abhängig. Wenn die Säule dessen eine Zinke aus Wismuth und die andere aus Eisen bestand, an z. B. einen Kupferdraht angelegt wurde, entstanden die Contacte Wismuth - Kupfer und Kupfer - Eisen. Wurde statt dessen ein Silberdraht angewandt, so entstanden die Contacte Wismuth - Silber und Silber - Eisen usw. Béquerel hat aber bewiesen, daß in solchen Fällen die thermo-elektromotorische Kraft eben so groß wird, wie wenn die beiden äußersten Metalle ohne eine Zwischenlage einander unmittelbar berühren<sup>1)</sup>. Man ist demnach hierbei unabhängig von der Beschaffenheit des zwischenliegenden Drahts. Die Versuche selbst erwiesen, daß es sich auch wirklich so verhielt.

Um den Werth von  $\frac{a}{w c}$  empirisch zu bestimmen, verfuhr ich folgendermaßen: Die thermo-elektrische Strombahn wird erst in dem Augenblicke geschlossen, als die Gewichte, womit der Draht gespannt wurde, beim äussern Ende des Hebels ankamen, oder, bei der Zusammenziehung des Drahtes, als sie die Axe des Hebels erreichten, worauf der Ausschlag am Magnetometer beobachtet wurde. So

1) *Annales de chimie et de physique Sér. I T. 41, p. 353.*

dann wurde derselbe Versuch gemacht, nachdem die Bahn während 6 Secunden nach dem letzten Zeitmomente offen gelassen war. Es ist klar, dass der Ausschlag im letzteren Falle geringer werden musste, da der Draht während jener 6 Secunden einen Theil seiner Wärme verlor. Das Verhältniss zwischen beiden Ausschlägen diente somit zum Maafsstabe für den während jener 6 Secunden entstandenen Wärmeverlust, wonach  $\frac{a}{w^c}$  leicht zu berechnen war. Wenn  $g$  jenen und  $f$  diesen Ausschlag bezeichnet, erhält man zu Folge der Gleichung (2)

$$\frac{g}{f} = e^{\frac{a}{w^c} \cdot 6}$$

Um nachzuweisen, dass diese Art, die Abkühlung des Drahtes zu bestimmen, ein richtiges Resultat ergebe, wurden mit einem Messingdraht einige Versuche gemacht, wobei der Ausschlag der Magnettadel beobachtet wurde, erstens wenn die Strombahn in den Augenblick geschlossen ward als die Streckung oder Zusammenziehung des Drahtes beginnt ward, dann wenn die Strombahn 6 Secunden nach diesem Zeitmoment offen gelassen worden, und endlich wenn sie 16 Secunden später offen war<sup>1)</sup>. Das Mittel von 5 Versuchen jederlei Art ergab für die drei Fälle folgende Ausschläge: 33,28; 24,72; 15,92.

Ist die Bestimmungsart richtig, so muss man für  $\frac{a}{w^c}$  denselben Werth aus  $\frac{33,28}{24,72} = e^{\frac{a}{w^c} \cdot 6}$  und aus  $\frac{33,28}{15,92} = e^{\frac{a}{w^c} \cdot 16}$

- 1) Wenn eine galvanische Leitungsbahn auf gewöhnliche Weise dadurch geschlossen wird, dass zwei Metalle mit einander in Berührung gebracht werden, entsteht an der Stelle des Contacts leicht ein schwacher thermoelektrischer Strom, auch wenn die Metalle derselben Art sind. Diese Fehlerquelle wird dadurch vermieden, dass der Leitungsdraht der thermoelektrischen Bahn an einer Stelle abgeschnitten wird und dass darauf die beiden Enden desselben so mit einander verbunden werden, dass ein dünnes Guttaperchalager dazwischen kommt. Wenn die Strombahn geschlossen werden soll, taucht man die Vereinigungsstelle in ein Gefäß mit Quecksilber.

erhalten. Der erste Werth von  $\frac{a}{wc}$  beträgt 0,0496, und der zweite 0,0461. Der Unterschied ist nicht größer, als er aus den Beobachtungsfehlern erkläbar ist. Bei den wirklichen Bestimmungen der Abkühlung der Drähte machte ich gewöhnlich 28 Beobachtungen, weshalb die erhaltenen Mittel nicht besonders fehlerhaft seyn können. Uebrigens sieht man aus dem Folgenden leicht ein, daß, wenn das Gesetz für die Abkühlung nicht vollkommen mit dem angegebenen übereinstimmen sollte; die daraus entstehenden Fehler keinen merklichen Einfluß auf die Resultate verursachen können, weil sie nahezu in demselben Verhältnis auf alle Beobachtungen einwirken.

Nachdem der numerische Werth von  $\frac{a}{wc}$  ermittelt worden, läßt die Zeit des Ausschlages sich aus der Gleichung (5) bestimmen. Ein Näherungswert dieser Zeit kann bis auf eine Secunde direct durch die Beobachtungen erhalten werden, worauf durch Approximation mit Beihülfe genannter Gleichung der genaue Werth sich ergiebt.

Die Bestimmung der Werthe von  $m$  und  $n$  geschah auf folgende Weise: Das Nadelsystem des Magnetometers ward mittelst eines Inductionsstroms in Bewegung gesetzt, welcher durch die Bewegung eines kleinen Stahlmagnets in einer Drahtrolle, die sich in der Leitungsbahn befand, hervorgebracht wurde. Sobald die Nadel die Gleichgewichtslage passirte, erhielt sie vom Inductionsstrom einen neuen Stoß. Auf diese Weise konnte, der Dämpfung ungeachtet, die Bewegung der Nadel beliebig lange unterhalten werden, und es wurden die Zeitsecunden für eine bestimmte Anzahl Oscillationen gezählt. Auf diese Weise ergab sich, daß auf

20 Oscillationen 554 Secunden kamen, woraus  $T = 27,70$ ,

26        "      720        "        "        "       $T = 27,69$ ,

30        "      831,5      "        "        "       $T = 27,72$ ,

also im Mittel für jede Oscillation 27,70 Secunden. Nun

aber ist  $T = \frac{n}{\sqrt{m - n^2}}$ ; also  $27,70 = \frac{n}{\sqrt{m - n^2}}$ .

Zur Bestimmung der Dämpfung ward folgendes, von W. Weber angegebenes Verfahren angewandt: Das Nadelsystem ward durch einen Inductionsstrom in Bewegung gesetzt, und jedes zweite Mal, wenn die Nadel darauf die Gleichgewichtslage passirte, ward sie vom Inductionsstrom zurückgeworfen. Nach einigen Oscillationen wurden die vier, von einander verschiedenen Ausschläge durch die Dämpfung constant. Auf diese Weise erhielt ich die folgenden Scale-Ablesungen, wovon jede für sich das Mittel von 12, unter einander gut übereinstimmenden Beobachtungen ist. Die Gleichgewichtslage war ungefähr beim Scalenthell 206

85,22      249,63      327,65      163,84.

Wenn die vierte Zahl von der zweite und die erste von der dritten subtrahirt, sodann der erste Rest mit dem zweiten dividirt wird, erhält man

$$\frac{85,79}{242,43} = 0,3539 = e^{-nT}.$$

Aus diesen Bestimmungen ergiebt sich

$$n = 0,03750 \text{ und also } n^2 = 0,001406;$$

$$m = 0,014269 \text{ und } \sqrt{m - n^2} = 0,11342^1).$$

#### 4.

Um ein zuverlässiges Maas für die Temperaturvariationen bei der Streckung oder Zusammenziehung der Drähte zu erhalten, war es nothwendig, die thermo-elektrische Säule auf mehrere verschiedene Stellen desselben Drahts zu versetzen, weil Metalldrähte im Allgemeinen, und jedenfalls diejenigen, welche ich anwandte, nicht überall von gleicher Dicke sind. Es ist nämlich klar, dass die Temperaturvariationen grösser an einer dünneren als an einer dickeren Stelle werden müssen; weil die Streckung an jener grösser ist. Die Länge der Metalldrähte, von der Stahlklemme an

1) Vor den beiden Untersuchungsreihen mit Gold und Platin, die erst eine längere Zeit, nachdem die übrigen bereits beendigt waren, ange stellt worden, hatten die Constanten  $n$ ,  $m$  und  $T$  eine kleine Veränderung erlitten; auf welchen Umstand gehörige Rücksicht bei der Berechnung dieser Reihen genommen worden ist.

gerechnet, womit der Draht an den Hebelarm befestigt worden, bis zur untern Seite des eisernen Arms, in welchen sein oberes Ende festgeschraubt war, betrug 566 Millim. Die thermo-elektrische Säule ward an 7 verschiedenen Stellen ungefähr gleichmäsig über die ganze Drahtlänge vertheilt befestigt. Der Abstand von der Hebelaxe bis zum Ende des Hebels war 9,2 Male so groß wie der von der Axe bis zum Befestigungspunkt des Metalldrahts. Um das gesammte Gewicht zu erhalten, womit der Draht in Wirklichkeit gestreckt wurde, müssen demnach die unten folgenden, in schwedischen Pfunden angegebenen Zahlen der bei den Versuchen angewandten Gewichte mit 9,2 multiplicirt werden. 100 Scalentheile in dem Fernrohr, womit der vom Hebel beschriebene Winkel beobachtet wurde, entsprachen einer Aenderung von 1,136 Millim. in der Drahtlänge. Die Scale des Fernrohrs, womit die Bewegungen der Magnetnadel beobachtet wurden, befand sich in einer Entfernung von 2,3825 Metern vom Spiegel des Magnetometers.

Ich stellte Versuche mit Drähten von 6 verschiedenen Metallen an, und alle Versuchsreihen wurden auf vollkommen gleiche Weise bewerkstelligt. Es dürfte daher genügen nur die erste ausführlich zu beschreiben und bloß die Resultate der übrigen mitzutheilen.

**A. Silberdraht** Ein Meter desselben wog 9,851 Grm. Zur Streckung bediente ich mich eines Gewichts von 5,7480 schwed. Pfunde. Das streckende Gesamtgewicht betrug demnach  $5,748 \times 9,2$  Pfund. Bei dieser Belastung streckte sich der Draht 131,29 Scalentheile, welches, da jeder Scalentheil 0,01136 Millim. entspricht, 1,4915 Millim. ausmacht. Jede zweite der folgenden Beobachtungszahlen bezieht sich auf die Streckung und die andere auf die Zusammenziehung des Drahtes. Die unter der Ueberschrift »Ausschläge« angeführten Zahlen wurden auf die Weise erhalten, dass die thermo-elektrische Leitungsbahn geschlossen war, ehe das streckende Gewicht in Bewegung gesetzt wurde. Von den Zahlen dagegen, die unter der Ueberschrift »Abkübung« stehen, wurden die gröfseren erhalten, als dieselbe Lei-

tüngsbahn in dem Augenblicke geschlossen ward, wo das streckende Gewicht beim äufsersten Endpunkt des Hebeln oder dessen Axe anlangte (demnach 2 Secunde später, als das streckende Gewicht in Bewegung gesetzt worden), und die kleineren Zahlen, als die Leitungsbahn fernere 6 Secunden oder 8 Secunden nach dem Zeitmoment, wo das streckende Gewicht in Bewegung gesetzt worden) offen gelassen wurde. Das Leitungsvermögen in der Bahn des thermo-elektrischen Stroms, untersucht mit dem oben genannten Magnetinductor, war, als die Säule sich an der ersten Stelle befand = 167,5.

Ausschläge	Abkühlung	
30,1	24,3	17,7
28,5	25,0	15,5
29,6	24,5	17,1
28,0	26,0	17,0
Mittel: 29,05	Mittel: 24,95	16,83
Die Säule weiter gerückt		
Das Leitungsvermögen = 166,2		
Ausschläge	Abkühlung	
27,8	26,2	17,3
27,9	27,0	19,0
28,7	25,5	17,1
28,0	26,8	18,3
Mittel: 28,10	26,38	17,93
Die Säule weiter gerückt		
Das Leitungsvermögen = 166,5		
Ausschläge	Abkühlung	
30,0	26,5	18,5
28,0	26,1	17,1
29,0	26,9	17,9
27,2	26,6	17,1
29,5	26,53	17,65
Mittel: 28,74		
Die Säule weiter gerückt		
Das Leitungsvermögen = 163,2.		
Ausschläge	Abkühlung	
29,8	26,1	17,5
29,0	26,7	17,0
29,4	26,6	18,0
29,0	27,3	17,8
Mittel: 29,30	26,68	17,58
Die Säule weiter gerückt		
Das Leitungsvermögen = 164,2		
Ausschläge	Abkühlung	
28,8	26,0	17,0
29,1	25,4	17,0
29,0	25,6	18,1
29,3	25,4	17,3
29,05	25,60	17,35

Die Säule weiter gerückt			Die Säule weiter gerückt		
Das Leistungsvermögen = 168,5			Das Leistungsvermögen = 168,0		
Ausschläge	Abkühlung		Ausschläge	Abkühlung	
27,8	26,5	17,0	31,0	27,2	19,3
28,8	26,0	17,3	31,0	28,4	18,6
28,7	26,8	18,0	31,3	27,5	18,5
29,2	26,3	17,0	29,7	28,0	19,0
Mittel: 28,63	26,40	17,33	30,75	27,78	18,85

Wenn sämmtliche diese Mittel der Ausschläge auf das Leistungsvermögen 170 reducirt werden, erhält man folgende Zahlen:

29,05	wird	29,48
28,10	"	28,74
28,74	"	29,35
29,30	"	30,52
29,05	"	30,08
28,63	"	28,88
30,75	"	31,12

Mittel: 29,739.

Werden die unter der Ueberschrift »Abkühlung« stehenden Mittel addirt, die gröfsen für sich und die kleineren für sich, so erhält man die Summen 184,32 und 123,52. Der Quotient dieser Zahlen, oder 1,492 ist nach der Gleichung (2)  $= e^{\frac{a}{wc} \cdot 6}$ . Daraus erhält man:

$$\frac{a}{wc} = 0,06671.$$

Mit diesem Werth von  $a$  erhält man nach der Gleichung (5) diejenige Zeit ( $T$ ), welche die Nadel nöthig hat, um einen Ausschlag zu machen, oder  $T = 19,96$  Secunden.

Wenn diese Werthe der unbekannten Grössen in die Gleichung (6) eingesetzt werden, so wird schliesslich

$$q^{\frac{v_0}{wc}} = 0,61816.$$

Wäre der Werth von  $q$  bekannt, so würde letztgenannte Gleichung unmittelbar die Temperaturvariation angeben, die der Silberdraht bei den angeführten Versuchen erlitt. Be-

vor ich jedoch zur Bestimmung von  $q$  übergehe, werde ich diejenigen Resultate mittheilen, welche ich mit den fünf übrigen Metalldrähten erhielt.

*B. Stahldraht.* Ein Meter dieses Drahts wog 7,189 Grm. Zur Streckung bediente ich mich eines Gewichts von 14,7795 schwed. Pfunden. Bei dieser Belastung streckte sich der Draht 1,9545 Millim. Folgende Tabelle enthält die Mittel der angestellten Versuche, welche wie oben erwähnt, auf dieselbe Weise wie mit dem Silberdraht ausgeführt wurden. Die erste Reihe giebt die Ordnungszahl der Stellen an, wo die thermo-elektrische Säule befestigt war; die zweite enthält die erhaltenen Mittel der Ausschläge, die dritte das Leitungsvermögen in der thermo-elektrischen Strombahn, die vierte die auf das Leitungsvermögen 170 reducirten Mittel der Ausschläge, und die übrigen zwei Reihen enthalten die beiden Mittel, die zur Berechnung der Abkühlung des Drahts nothwendig sind.

1	2	3	4	5	6
1	28,13	152,5	31,36	25,40	17,78
2	31,25	162,5	32,69	27,25	19,50
3	30,73	167,5	31,19	28,05	19,53
4	31,48	159,5	33,55	28,25	20,30
5	28,80	155,3	31,53	25,85	17,97
6	28,00	161,2	29,53	23,90	16,93
7	28,98	147,0	33,51	24,90	18,25
Mittel: 31,909			26,229	18,609	

Hieraus erhält man:

$$1,410 = e^{\frac{a}{w_c} \cdot 6}; \quad \frac{a}{w_c} = 0,05776, \quad T = 20,46 \text{ Secunden},$$

und schliesslich

$$q \frac{v_0}{w_c} = 0,61513.$$

*C. Kupferdraht.* Das Gewicht von 1 Meter dieses Drahtes war 7,771 Grm. Das Gewicht, womit der Draht gestreckt ward, betrug 7,5350 schwed. Pfunde. Bei dieser Belastung streckte sich der Draht 1,5932 Millim. Folgende Tabelle ist gleich der vorigen eingerichtet.

1	2	3	4	5	6
1	28,33	165,6	29,08	25,85	17,65
2	29,23	166,8	29,79	25,95	18,60
3	30,28	167,5	30,73	27,38	18,85
4	30,28	169,9	30,30	26,70	18,43
5	28,53	169,2	28,66	28,73	19,85
6	30,63	170,1	30,61	26,83	18,58
7	29,23	169,7	29,28	26,25	18,33
Mittel:		29,779	26,813	18,613	

Hieraus erhält man:

$1,441 = e^{\frac{a}{w_c} \cdot 6}$ , woraus  $\frac{a}{w_c} = 0,06084$ ;  $T = 20,311$  Secund.  
und schließlich

$$q \frac{v_0}{w_c} = 0,59204.$$

**D. Messingdraht.** Ein Meter dieses Drahts wog 10,641 Grm. Das Gewicht, womit der Draht gestreckt wurde, betrug 11,0290 schwed. Pfund. Der Draht streckte sich bei dieser Belastung 2,057 Millim. Die erhaltenen Resultate waren folgende:

1	2	3	4	5	6
1	36,60	169,6	36,69	34,05	26,33
2	36,80	171,0	36,59	34,48	26,20
3	37,55	171,5	37,22	35,35	25,53
4	36,73	170,8	36,56	34,00	25,90
5	36,85	171,0	36,63	35,00	25,90
6	36,68	171,7	36,32	34,00	24,75
7	35,38	170,9	35,19	33,28	24,72
Mittel:		36,457	34,309	25,619	

Hieraus erhält man

$1,3392 = e^{\frac{a}{w_c} \cdot 6}$ , und daraus  $\frac{a}{w_c} = 0,04868$ ;  $T = 21,15$  Sec.  
und schließlich

$$q \frac{v_0}{w_c} = 0,65769.$$

**E. Platindraht.** Ein Meter dieses Drahts wog 35,454 Grm. Das Gewicht, womit der Draht gestreckt ward, be-

trug 5,9320 schwed. Pfund. Bei dieser Belastung streckte sich der Draht 0,5304 Millim. Die Resultate waren folgende:

1	2	3	4	5	6
1	6,94	164,5	7,15	6,53	5,08
2	6,93	167,1	7,05	6,23	4,43
3	7,20	166,1	7,37	6,83	5,23
4	7,33	168,2	7,41	7,20	6,03
5	7,85	166,6	8,01	7,43	5,87
6	7,07	161,1	7,46	6,80	5,42
7	7,08	164,4	7,32	6,65	5,23
8	7,00	159,7	7,45	6,75	5,00
Mittel: 7,403			6,803	5,286	

Die Constanten des Magnetometers hatten vor den Versuchen mit dem Platindraht, die eine längere Zeit nach den vorigen angestellt wurden, eine kleine Veränderung erlitten;  $m$  war nämlich nun = 0,01433;  $n$  = 0,03952 und die Oscillationszeit 27,80 Secunden. Nimmt man hierauf Rücksicht, so erhält man für den Platindraht:

$$e^{\frac{m}{n} \cdot \frac{6}{c}} = 1,2868, \text{ woraus } \frac{a}{wc} = 0,04203; T = 21,63 \text{ Secund.}$$

und schliesslich

$$q \frac{v_0}{wc} = 0,12866.$$

**F. Golddraht.** Ein Meter dieses Drahts, der chemisch rein war, wog 19,849 Grm. Das Gewicht, womit der Draht gestreckt ward, betrug 3,8240 schwed. Pfund. Bei dieser Belastung streckte sich der Draht 1,082 Millim. Die Resultate waren folgende:

1	2	3	4	5	6
1	11,12	161,2	11,73	9,03	6,10
2	11,03	156,3	12,00	10,15	6,95
3	11,95	159,3	12,75	10,77	7,67
4	12,23	147,9	14,06	11,55	7,98
5	12,38	155,2	13,56	11,07	7,82
6	12,32	162,1	12,92	11,17	7,40
7	11,15	162,4	11,67	10,53	7,28
Mittel: 12,67			10,61	7,31	

Hieraus erhält man:

$$1,4506 = e^{\frac{a}{w c} \cdot 6}; \quad \frac{a}{w c} = 0,06199; \quad T = 20,10 \text{ Secunden},$$

und schließlich:

$$q \frac{v_0}{w c} = 0,25692.$$

### 5.

Ehe ich zur Bestimmung des Werthes der Constante  $q$  übergehe, werde ich erst untersuchen, in wiefern die schon erhaltenen Resultate mit den Forderungen der mechanischen Wärmetheorie übereinstimmen. Aus dieser Theorie kann man, wie W. Thomson gezeigt, folgende Gleichung deduciren, welche angiebt, bis zu welchem Grade die Temperatur sich bei einem Metalldraht ändert, wenn das Gewicht, womit derselbe gestreckt wird, sich mehrt oder mindert. Wenn  $t$  die Temperatur des Drahts,  $p$  das Streckgewicht,  $A$  die der mechanischen Arbeitseinheit entsprechende Wärmemenge,  $b$  den umgekehrten Werth des Luftausdehnungscoëfficienten für  $1^\circ \text{ C.}$  oder 273, so dass  $b + t$  die Temperatur, von dem absoluten Nullpunkt an gerechnet, angiebt,  $\alpha$  die lineare Ausdehnung für  $1^\circ$ ,  $w$  das Gewicht der Längeneinheit des Drahts und  $c$  dessen specifische Wärme bedeutet, so wird

$$dt = \frac{A(b+t)\alpha}{w c} dp.$$

Weil die Temperaturvariationen sehr unbedeutend sind im Verhältnis zu der Quantität  $b + t$ , kann diese ohne merkbaren Fehler als constant betrachtet werden, wodurch man, wenn  $\Delta t$  und  $\Delta p$  die endlichen Variationen von  $t$  und  $p$  bedeuten, erhält:

$$\Delta t = \frac{A(b+t)\alpha}{w c} \Delta p \quad . . . \quad (7).$$

Wird diese letzte Gleichung mit  $q$  multiplicirt, und berücksichtigt man außerdem, dass  $\Delta t$  dasselbe ist als  $\frac{v_0}{w c}$ , so erhält man:

$$\frac{q v_0}{w c} = q \frac{A(b+t)\alpha}{w c} \Delta p \quad . . . \quad (8)$$

Die Temperatur im Beobachtungszimmer war bei allen Versuchen nahe an  $+16^{\circ}$  C.; einige seltene Male fiel sie bis auf  $+15^{\circ}$  und nur ein paar Male stieg sie etwas über  $+17^{\circ}$ . Der Factor  $b + t$  kann demnach als constant betrachtet werden, nicht nur während einer und derselben Versuchsreihe, sondern bei allen. Bringt man nun die obigen, bei den sechs verschiedenen Metallen beobachteten Werthe von  $\frac{q v_0}{w c}$  in die Gleichung (8), und berechnet die Werthe der Constante  $q A(b + t)$ , mit Annahme der in der Note stehenden Werthe von  $a$  und  $c^1$ ), und zieht aus diesen berechneten Werthen der genannten Constante das Mittel, so bekommt man dieses Mittel = 0,80847. Bringt man diesen Werth in die Gleichung (8), so erhält man mit Beihülfe der Gleichung (6)

$$x = \frac{0,80847 \sin(T \sqrt{m - n^2}) e^{-nT}}{a \sqrt{m - n^2}} \alpha \Delta p . \quad (9)$$

Nach dieser Formel kann man also die *relativen* Werthe der Ausschläge berechnen, welche die mechanische Wärmetheorie erfordert. Wird diese Berechnung ausgeführt, so erhält man folgende Vergleichungstabelle zwischen den beobachteten und den aus der Theorie berechneten Ausschlägen:

1) Für Stahl ist nach Lavoisier und Laplace	$a = 0,00001079$		
Silber	do.	do.	$a = 19086$
Kupfer	do.	do.	$a = 17173$
Messing	do.	do.	$a = 18782$
Platin	Borda		$a = 08565$
Gold	Grace Galvert u. Cliff Lowe	$a =$	1380
	(Fortschritte der Physik 1860 S. 339.)		

Die VVärmecapacitäten bei constantem Druck sind nach Regnault

Für Silber  $c = 0,05701$

Kupfer  $c = 0,09515$

Platin  $c = 0,03243$

Gold  $c = 0,03244$

Für Stahl ist wie für Eisen  $c$  gleich 0,1138 angenommen worden. Da die VVärmecapacität bei Zink (0,09555) unbedeutend grösser als bei Kupfer ist, so kann das Mittel aus beiden oder 0,09535 als das für Messing geltende  $c$  angenommen werden.

	Beob.	Berech.	Untersch.
Silber	29,74	29,71	- 0,03
Stahl	31,91	31,96	+ 0,05
Kupfer	29,78	27,82	- 1,96
Messing	36,46	35,77	- 0,69
Platin	7,40	8,03	+ 0,63
Gold	12,67	12,78	+ 0,11

Die Uebereinstimmung zwischen den beobachteten und den berechneten Werthen kann als vollkommen befriedigend angesehen werden, zumal wenn man in Betracht zieht, dass außer den bei den Untersuchungen unvermeidlichen Beobachtungsfehlern einige Unsicherheit in den Werthen der Ausdehnungscoefficienten  $\alpha$  liegt, welche für die untersuchten Metaldrähte nicht vollkommen gleich mit den bei der Rechnung benutzten gewesen seyn dürften. Es ist demnach hiemit erwiesen, dass, wenn ein Metall in Folge der Einwirkung äusserer Kräfte eine Volumveränderung der Art erleidet, wie sie bei den vorigen Versuchen stattfand, die *relativen* Werthe der dabei entstandenen Temperaturvariationen sich mittelst der aus der mechanischen Wärmetheorie deducirten Gleichung (7) berechnen lassen. Dies gilt jedoch nicht von ihren *absoluten* Werthen. Die Constante  $A(b + t)$  hat nämlich für die Metalle, wie im Folgenden dargethan werden soll, einen andern Werth als den, der in der Theorie angenommen wird.

### 6.

Um  $q$ , oder, was dasselbe ist, den Werth der Scalenteile in gewöhnlichen Thermometergraden zu bestimmen, wurde das folgende Verfahren angewandt: Ein eiserner Draht ward mit einem Draht von Neusilber zusammengelötet, und die freien Enden beider sodann mit gleich dicken Kupferdrähten ebenfalls zusammengelötet. Das auf diese Weise zusammengesetzte Drahtsystem ward darauf in die in Fig. 10 Taf. VI dargestellte Form gebogen.  $N$  ist der neu-silberne Draht,  $E$  der Eisendraht,  $k, k$  die beiden Kupferdrähte und  $a, a', a''$  die drei Löthstellen. Die vertical niedergebogenen Theile wurden jeder in sein gläsernes Proberohr gestellt, und in diese Proberohre wurden zwei gleiche empfindliche Thermometer gesteckt. Die Kugeln derselben

sassen den Löthstellen so nahe wie möglich. Um einen Luftwechsel in den Proberohren vorzubeugen, wurde das obere Ende mit Baunwolle verstopft. Jedes Proberohr ward in einen Becher mit Wasser gestellt. In demjenigen Becher, der die doppelten Löthstellen umgab, war die Temperatur des Wassers gleich derjenigen der Luft im Zimmer, oder ungefähr  $+16^{\circ}$ . In dem andern Becher war die Temperatur des Wassers bei den verschiedenen Versuchen von 1,30 bis 11,01 $^{\circ}$  niedriger als in dem vorigen. Die beiden Kupferdrähte wurden mit den Leitungsdrähten des Magnetometers in Verbindung gesetzt. Nachdem die Temperatur in den Proberohren sich während einer längeren Zeit constant gezeigt hatte, ward der Ausschlag der Magnetenadel abgelesen, und sodann der Strom mit einem Commutator umgekehrt, worauf wieder der Ausschlag abgelesen ward, sobald die Nadel in Ruhe gerathen war. Die unten angeführten Zahlen geben den Unterschied zwischen diesen Ablesungen an, und bedeuten demnach den doppelten Ausschlag der Magnetenadel. Die erhaltenen Resultate waren folgende:

Doppelter Ausschlag	Der Temperaturunterschied zwischen den Löthstellen	Der doppelte Ausschlag für einen Temperatur- unterschied von 1 $^{\circ}$
360,0	11,01	
351,0	10,86	32,50
343,8	10,60	
290,0	9,19	
280,5	8,86	31,48
271,8	8,72	
231,8	7,28	
224,1	7,10	31,86
219,8	6,83	
165,0	5,08	
163,1	5,08	32,21
161,9	5,02	
45,7	1,35	
45,6	1,35	32,47
45,6	1,30	

Wenn man die für einen Temperatur-Unterschied von  $1^{\circ}$  erhaltenen Zahlen addirt und daraus das Mittel nimmt, wird dieses = 32,104 Scalenteile. Die thermo-elektrische Kraft schien, für einen Temperatur-Unterschied von  $0^{\circ}$  bis  $11^{\circ}$ , nicht schneller als proportional mit dem Temperatur-Unterschiede zuzunehmen, wie andere Forscher früher gefunden haben. Das Leitungsvermögen in der thermo-elektrischen Leitungsbahn, auf die bereits angeführte Weise untersucht, ergab 47,725 als Mittel von 8 Beobachtungen, deren größter Unterschied 0,6 betrug. — Um experimentell darzuthun, daß die Löthung keinen Einfluß auf die Größe der thermo-elektrischen Kraft ausübe, schritt ich auf jeder Seite der Löthstelle (*a*) die Drähte ab, feilte die Enden schräg ab, legte sie auf einander und schraubte sie mit einer Klemmschraube aus Knochen zusammen. Darauf wurden die Contactstellen wie früher in die Proberöhre gesteckt, wobei der Ausschlag 32,12 Scalenteile für einen Temperatur-Unterschied von  $1^{\circ}$  ergab. Wie es zu erwarten stand, übt also die Löthung keinen Einfluß auf die Größe der thermo-elektrischen Kraft aus.

Von dem neusilbernen und dem eisernen Draht, welche ich bei den eben genannten Versuchen benutzte, wurden zwei Stücke, eins von jedem, von ungefähr 2 Centim. Länge angeschnitten. Diese Stücke wurden an einem Ende schräg abgefeilt und in die thermo-elektrische Säule eingesetzt. Die Säule wurde an dem oben unter Lit. *B* genannten Stahldraht, welcher auf die frühere Weise in den Streckungsapparat hineingebracht war, angebracht. Darauf machte ich Streckungsversuche mit einem Gewicht von 14,7795 schwed. Pfund. Die Säule ward an 7 verschiedenen Stellen, die in ungefähr gleich weiten Entfernnungen von einander den ganzen Draht entlang vertheilt waren, versetzt; an jeder Stelle machte ich vier Versuche. Die Schnelligkeit der Abkühlung ward nicht bestimmt, weil selbige durch die früheren mit demselben Draht bereits gemachten Versuche bekannt war. Die Mittel der angestellten, zu einem Le-

tungsvermögen von 160 in der Bahn des thermo-elektrischen Stroms reducirten, Versuche sind folgende:

1.	Stelle	12,94
2.	"	11,08
3.	"	12,57
4.	"	13,71
5.	"	12,49
6.	"	12,25
7.	"	12,85

Mittel aller Versuche: 12,56.

Dem Vorgehenden gemäfs hat man, bei der früheren Bedeutung der Buchstaben:

$$\frac{x a e^{-T} \sqrt{m - n^2}}{\sin(T \sqrt{m - n^2})} = \frac{q v_0}{w c}.$$

Bringt man darin den Werth von  $m$  und  $n$  und die zum Stahldraht gehörenden Werthe von  $a = 0,05776$  und von  $T = 20,56$ , so erhält man

$$0,02015 x = \frac{q v_0}{w c}.$$

Nun ist aber leicht zu berechnen, wie gros der constante Ausschlag ( $y$ ) geworden wäre, wenn der Stahldraht nicht abgekühlt worden, sondern unverändert die ursprüngliche Wärmemenge behalten hätte, bis die Magnetnadel zur Ruhe gelangt war. Die Gleichung (1) ergiebt nämlich für diesen Fall, wenn  $dx$  und  $d^2x$  gleich Null gemacht, und  $x$  in  $y$  verändert wird

$$my = \frac{q v_0}{w c}.$$

Aus den zwei letzten Gleichungen erhält man, weil  $m = 0,01433$  ist,

$$1,40623 x = y.$$

Wird hier, anstatt  $x$ , dessen Werth 12,56 eingesetzt, so findet man schliesslich, dass der constante Ausschlag, den man erhalten würde, wenn der bei der Streckung und Zusammenziehung des Stahldrahts entwickelte Temperatur-Unterschied sich unverändert gehalten hätte, bis die Nadel zur

Ruhe gelangt wäre, 17,66 Scalentheile ausgemacht haben würde. Da man nun weiß, dass die Neusilber-Eisensäule für einen Temperatur-Unterschied von  $1^{\circ}$ , wenn das Leitungsvermögen 47,725 ist, einen constanten Ausschlag herbeiführt, dessen doppelter Werth 32,104 Scalentheile beträgt, so ist es leicht zu berechnen, ein wie großer Temperatur-Unterschied nötig ist, um einen einfachen Ausschlag von 17,66 zu bewirken, wenn das Leitungsvermögen 160 ist. Man findet auf diese Weise, dass bei den so eben angeführten Streckungsversuchen mit dem Stahldraht der in diesem entstandene Temperatur-Unterschied  $= 0,3282^{\circ} \text{ C.}$  war<sup>1)</sup>.

Wenn dieser Werth von  $\Delta t$  in die Thomson'sche Formel (Gleichung 7) hineingesetzt und dabei im Uebrigen in Betracht gezogen wird, dass 1 schwed. Pfund sehr nahe  $= 0,425$  Kilogramm ist, dass der Hebelarm, auf dem das Gewicht bewegt wurde, 9,2 mal so lang war, als die Entfernung der Axe des Hebels vom Befestigungspunkt des Stahldrahts, und dass, (weil die mittlere Temperatur des Zimmers während der beiden Tage, wo diese Versuche gemacht wurden  $21^{\circ}$  betrug)  $b + t = 294$  war, so erhält man das mechanische Aequivalent der Wärme-Einheit:

$$\frac{I}{A} = \frac{294 \times 0,00001079 \times 11,7795 \times 0,425 \times 9,2}{0,3282 \times 0,1138 \times 0,007189} = 682,73 \text{ Kilogramm-meter.}$$

Dieser Werth des mechanischen Wärme-Aequivalents ist bedeutend größer als der, den man durch die Anwendung der Theorie auf die Gase erhält. Angenommen, der

- 1) Gegen obige Bestimmung der Temperaturvariationen würde man möglicherweise einwenden können, dass, als der zusammengelöste Neusilber-Eisendraht im Proberohr angebracht war, beide Drahtenden auf eine und dieselbe Weise abgekühlt wurden, wogegen, als die Neusilber-Eisensäule am Stahldraht applicirt worden, letzterer allein im ersten Augenblitke abgekühlt oder erwärmt ward. Man hatte also im letzteren Falle ein kaltes Metall gegen ein warmes, oder umgekehrt. Dieser Umstand kann allerdings verursachen, dass die thermo-elektrische Kraft in diesen beiden Fällen für denselben Temperatur-Unterschied nicht *absolut* gleich ist. Die von Prof. Magnus angestellten Versuche (Pogg. Ann. Bd. 83 S. 469) zeigen jedoch, dass der Unterschied zwischen ihnen so klein ist, dass bei den obigen Versuchen keine Rücksicht darauf zu nehmen war.

wirkliche Werth von  $\frac{1}{A}$  sey der in späterer Zeit durch Tresca's und Laboulaye's umfassende Untersuchung bestimzte, oder 433 Kilogrammeter<sup>1</sup>), so ist der oben erhaltene Werth 1,5767 mal so grofs. Obgleich Beobachtungsfehler bei Untersuchungen dieser Art schwer zu vermeiden sind, bin ich doch überzeugt, daß solche hier nur einige wenige Procent betragen können, was auch von dem unten gefundenen Werth des mechanischen Aequivalents der Wärme bestätigt wird. Hieraus folgt, daß diejenigen Temperaturvariationen, die bei der Volumveränderung der Metalle durch Einwirkung äußerer Kräfte entstehen, nicht  $\frac{2}{3}$  derjenigen erreichen, die aus der theoretischen Berechnung erfolgen. Dieser Unterschied zwischen den Gasen und den festen Körpern muß eine Ursache haben, und diese kann keine andere als die innere Arbeit seyn, welche bei der Volumveränderung durch die gegenseitige Einwirkung der Moleküle des Körpers entsteht. Diese innere Arbeit auf die bei der theoretischen Betrachtung keine gebührende Rücksicht genommen worden ist, findet bei den Gasen nicht statt. Die obige Untersuchung zeigt, daß jene innere Arbeit beim Volumzuwachs der Metalle eine Erhöhung der Temperatur und bei deren Zusammenziehung ein Sinken derselben verursacht, zum Betrage von mehr als  $\frac{1}{2}$  der Temperaturvariationen, die entstanden seyn würden, falls keine innere Arbeit stattgefunden hätte.

### 7.

Mit Hülfe der oben angeführten Bestimmungen der Temperaturvariationen bei Volumveränderung der Metalle kann das Verhältniß zwischen den Wärmecapacitäten bei constantem Druck und constantem Volumen derselben berechnet werden. Dabei wird jedoch vorausgesetzt, daß man die Volumveränderung eines Drahts bei einer gegebenen Belastung kenne, oder in welchem Maafse der Diameter des Drahts sich verringere, wenn die Länge zunimmt. Bei der Berechnung untenstehender Zahlen habe ich, den

1) *Compt. rend.* für 1865 T. I. p. 326.

Wertheim'schen Untersuchungen zufolge, angenommen, dass der Volumzuwachs des Drahts bei der Streckung  $\frac{1}{3}$  des Zuwachses ausmacht, der entstanden seyn würde, falls der Diameter des Drahts sich unverändert beibehalten hätte. Dies darf jedoch etwas verschieden bei den verschiedenen Metallen seyn. Kirchhoff erhielt bei seinen Experimenten mit Stahl anstatt  $\frac{1}{3}$  die Zahl 0,294<sup>1)</sup>. Die erhaltenen Zahlen können daher keinen Anspruch auf vollkommene Genauigkeit machen. — Wenn  $M$  den Elasticitäts-Coëfficienten des Metalls (dasjenige Gewicht in Kilogrammen, welches im Stande wäre, einen Draht vom Durchschnitt eines Quadratmillimeters bis zur doppelten Länge zu strecken, falls dies möglich wäre),  $p$  das Gewicht, womit derselbe gestreckt wird, und  $x$  die Verlängerung eines Drahts von der Länge der Einheit bedeutet, so ist

$$x = \frac{p}{M}.$$

Wenn hierin  $x$  gleich  $9\alpha$  gesetzt wird, wo  $\alpha$  den linearen Wärmeausdehnungs-Coëfficienten bedeutet, so findet man, dass das Gewicht ( $p_0$ ) welches im Stande ist, das Metall eben so viel als ein Temperaturzuschuss von einem Grade auszudehnen gleich ist  $9\alpha M^2$ <sup>2)</sup>.

Wird dieser Werth von  $p_0$  in die Gleichung (7) gesetzt, nachdem  $A$  den durch den vorhergehenden Versuch gefundenen Werth  $\frac{1}{682,73}$  erhalten hat, so erhält man die Temperaturabnahme, die entsteht, wenn das Metall eine Ausdehnung erleidet, welche einer Temperaturerhöhung von  $1^\circ$  entspricht. Man bekommt auf diese Weise

1) Pogg. Ann. Bd. 108, S. 369.

2) Die Elasticitäts-Coëfficienten der angewandten Metalldrähte wurden von mir untersucht und waren folgende:

für Stahl	18643 Kilogramme
Silber	8481
Kupfer	12424
Messing	10012
Platin	16275
Gold	8090.

für Stahl	<b>0,00941</b>	Grade
Silber	<b>0,01991</b>	
Kupfer	<b>0,01643</b>	
Messing	<b>0,01680</b>	
Platin	<b>0,00663</b>	
Gold	<b>0,00978</b>	

Aus diesen Zahlen erhält man leicht das Verhältnis zwischen den Wärmecapacitäten bei constantem Druck und constantem Volum, nämlich

für Stahl	$\frac{c}{c'} = 1,0095$
Silber	$\text{``} = 1,0203$
Messing	$\text{``} = 1,0171$
Kupfer	$\text{``} = 1,0167$
Platin	$\text{``} = 1,0067$
Gold	$\text{``} = 1,0099$

Diese Zahlen gelten für eine Temperatur von  $+16^{\circ}$ . Auf dieselbe Weise kann eine entsprechende Berechnung für andere Metalle gemacht werden, wenn die für die Berechnung erforderlichen Data bekannt sind.

#### 8.

Wir gehen nun zur Bestimmung der Constante  $b$ , oder derjenigen Wärmemenge über, die bei der Zusammenziehung des Drahts entsteht, wenn keine äussere mechanische Arbeit dabei verrichtet wird, d. h. wenn der Draht vom Arm des Hebeln befreit wird dadurch, daß man den oben erwähnten Stahlcylinder schnell herauszieht, während der Draht gespannt ist. Dieser zieht sich alsdann zusammen, und seine Partikel kommen in Oscillation um ihre respektiven Gleichgewichtslagen. Diese Oscillationen verwandeln sich in Wärme, und man bekommt daher in diesem Falle eine grölsere Wärmeentwickelung, als wenn der Draht sich mit Verrichtung mechanischer Arbeit zusammenzieht, d. h. wenn das Gewicht, womit der Draht gespannt wird, vom Ende des Hebeln bis zu dessen Axe geführt wird. In diesen beiden Fällen befindet sich der Draht sowohl vor wie nach der Zusammenziehung in demselben Zustande.

Der Draht hat in diesen beiden Fällen eine und dieselbe Volumveränderung erlitten, aber nur das eine Mal hat er während derselben eine äussere mechanische Arbeit verrichtet. Der entstandene Wärmeunterschied kann sich somit nicht von der inneren Arbeit herleiten, die durch die Verschiebung der Moleküle relativ zu einander entsteht, weil jene in beiden Fällen gleich ist, sondern muß ausschließlich von der äusseren Arbeit abhängen. Da sowohl die äussere Arbeit als der entstandene Wärmeunterschied gemessen werden kann, so erhält man auf diese Weise eine quantitative Bestimmung des mechanischen Aequivalents der Wärme.

Ist der Draht gleich dick und hat er überall dieselbe Elasticität, so muß er sich unter der Belastung in jedem Punkte gleich viel strecken. Es ist jedoch klar, daß diejenigen Punkte, die in weiterer Entfernung von dem oben im eisernen Arm befestigten Ende des Drahts liegen, sich während der Streckung weiter in den Raum binausziehen müssen, als diejenigen, welche dem Ende näher liegen. Daraus folgt, daß, da der Draht sich schnell zusammenzieht, die Geschwindigkeit bei denjenigen Theilen des Drahts, die dem untern Ende desselben näher liegen, größer wird, als bei denen, die höher hinauf liegen, während die Oscillationsgeschwindigkeit der Partikel um ihre respectiven Gleichgewichtslagen überall dieselbe ist. Der untere Theil des Drahts wird daher bei der Zusammenziehung emporgeworfen und veranlaßt eine Biegung desselben, wobei es leicht geschieht, daß die am Draht befestigte Stahlkleinme gegen naheliegende Theile des Streckapparates anstößt. Um dies zu verhindern, wurde der untere Theil des Drahts mit einem kleinen hohlen, an dem eichenen Balken befestigten Messingcylinder umgeben. Der Draht konnte auf diese Weise keine grössere Bewegungen seitwärts machen. Um die hieraus entstehenden leicht möglichen Fehler zu vermindern, wandte ich viel kleinere Gewichte zur Spannung des Drahts an, als die größten, welche der Draht zu tragen im Stande war. Es war begreiflicherweise nothwen-

dig, dass die thermo-elektrische Säule ihren Platz auf dem Draht nicht veränderte, wenn dieser sich zusammenzog, weil dadurch Frictionswärme entstehen konnte, welche die erhaltenen Ausschläge des Magnetometers zu gross machen würde. Andererseits durste die Säule auch nicht zu hart gegen den Draht angeschraubt werden, weil alsdann die Streckung in dem unter den Säulenenden liegenden Drahttheile geringer wurde als in den übrigen Theilen des Drahts. Das Aufschrauben durste nicht stärker seyn, als dass die Säule mittelst einer angehängten Belastung, deren Gewicht im Vergleich mit dem Belastungsgewicht des Drahts außer Acht gelassen werden konnte, längs dem Drahte gleiten konnte. Um diese Schwierigkeit zu vermeiden, wurde die Säule nahe am oberen Befestigungspunkt des Drahts festgeschraubt. Bei allen folgenden Versuchen ward dieselbe Säule benutzt, der bei meiner Untersuchung im Jahre 1860 über die Wärmephänomene bei Volumveränderung angewandt worden war. Um die Ausschläge möglichst gross zu machen, wandte ich Wismuth und eine Legirung von 99 Theilen Wismuth und 1 Theil Zinn an, welche Legirung nach Rollmann positiver seyn soll als Antimon. Die Säulenfedern der im Vorhergehenden beschriebenen Säule waren zu schwach, um denselben eine unveränderliche Lage zu sichern, wenn der Draht sich ohne Belastung zusammenzog.

Es wurden Versuche mit den im Vorhergehenden genannten Silber-, Messing- und Kupferdrähten angestellt. Zuerst beobachtete ich den Ausschlag (*m*), wenn sich der Draht *mit* Verrichtung mechanischer Arbeit zusammenzog, d. h. wenn das den Draht spannende Gewicht vom Ende des Hebels bis an dessen Axe geführt wurde, und darauf den Ausschlag (*n*), welcher entstand, wenn sich der Draht *ohne* Verrichtung mechanischer Arbeit zusammenzog, d. h. wenn das untere Ende des Drahts durch Entfernen des Stahlcylinders vom Hebel freigemacht wurde. Der Unterschied zwischen diesen beiden Ausschlägen war ein Maas für den Temperaturzuwachs, welcher der vom Draht ver-

richteten mechanischen Arbeit entsprach. Dieser Temperaturzuwachs konnte leicht auf folgende Weise in gewöhnlichen Thermometergraden gemessen werden. Wie oben gezeigt worden, kann man mittelst der Thomson'schen Formel, wenn man darin für  $A$  setzt  $\frac{1}{682,73}$ , den Temperaturzuwachs berechnen, der durch Zusammenziehung des Drahts mit Verrichtung mechanischer Arbeit entsteht. Dieser Temperaturzuwachs verhält sich aber zu denjenigen, welcher der äusseren Arbeit entspricht, wie  $m$  zu  $n - m$ . Man ist auf diese Weise unabhängig von der Dicke des Drahts an der Stelle, wo die Säule sich befindet, weil  $m$  und  $n - m$  sich in demselben Verhältnis verändern, wenn der Diameter des Drahts sich vergrößert oder vermindert. Es ist daher überflüssig, die Säule von einer Stelle zur andern zu rücken, um ein richtiges Resultat zu erhalten.

*A. Der Silberdraht.* Das bei der Streckung des Drahts angewandte Gewicht betrug 5,771 schwed. Pfunde. Da dieses auf einen Hebelarm einwirkte, der 9,2 mal so lang als die Entfernung der Axe des Hebels bis zum Befestigungspunkt des Drahtes war, so musste man dieses Gewicht mit 9,2 multipliciren um die ganze Streckkraft zu erhalten. Bei diesem Gewicht verlängerte sich der Draht um 1,497 Millimeter. Derselbe war, wie bei den früheren Versuchen, 566 Millim. lang. Die Temperatur im Zimmer war + 16°.

Ausschläge.	
<i>m</i>	<i>n</i>
32,1	41,0
30,8	42,0
31,0	43,4
30,8	42,5
30,5	42,8
30,5	43,5
30,9	42,0
30,6	41,9
30,5	40,8
<b>31,1</b>	<b>41,5</b>
Mittel: 30,78	42,14

Setzt man das Gewicht der Längeneinheit des Drahts, dessen linearen Ausdehnungs-Coëfficienten für Wärme, dessen Wärmecapacität und das Gewicht, womit der Draht gestreckt wird, in die Thomson'sche Formel ein, so erhält man;

$$\Delta t = \frac{289 \times 5,771 \times 9,2 \times 0,425 \times 0,000019086}{682,73 \times 0,009851 \times 0,05701};$$

wonach  $\Delta t$  gleich  $0,3246^{\circ}$  C. wird.

Multiplicirt man dieses Resultat mit  $\frac{n-m}{m} = \frac{11,63}{30,78}$ , so erhält man den Temperaturzuwachs, welcher der mechanischen Arbeit entspricht,  $= 0,1198^{\circ}$ .

Wenn  $y$  die variable Verlängerung des Drahts bei der Zusammenziehung, und  $p$  das derselben entsprechende Streckgewicht ist, so ist die ganze verrichtete Arbeit

$$\int p dy,$$

wenn das Integral von  $p = 0$  bis  $p = 5,771 \times 9,2 \times 0,425$  genommen wird. Nun ist aber  $y$  proportional mit  $p$ , oder  $y = sp$ , wo  $s$  eine Constante ist. Setzt man in die Integralformel  $sdp$  anstatt  $dy$  hinein, führt die Integration aus, setzt sodann  $y$  anstatt  $sp$  und anstatt  $p$  und  $y$  ihre größten numerischen Werthe ein, so wird die bei der Zusammenziehung des Drahtes verrichtete mechanische Arbeit

$$= \frac{5,771 \times 9,2 \times 0,425 \times 0,001497}{2}.$$

Diese Quantität muss der entwickelten Wärmemenge, multiplicirt mit der Arbeitsmenge, welche die Wärmeeinheit zu verrichten vermag, gleich seyn. Da diese Wärmemenge  $0,1198 \times 0,05701 \times 0,009851 \times 0,566$  ist, so wird schliefslich das mechanische Aequivalent der Wärme  $= 443,6$  Kilogrammeter.

*B. Der Kupferdraht.* Das Gewicht, das zur Streckung des Drahts angewandt wurde, betrug 5,811 Pfunde. Bei diesem Gewicht streckte sich der Draht 0,001229 Meter. Der Temperaturzuwachs, nach der genannten Formel berechnet, betrug  $0,2234^{\circ}$ . Nun aber zeigt die oben mitge-

theilte Vergleichungstabelle zwischen den berechneten und den beobachteten Temperaturvariationen bei Streckung der Drähte, dass die beim Kupferdraht beobachtete Temperatur etwas höher als die berechnete ist, welches wahrscheinlich daher röhrt, dass der bei der Berechnung benutzte Ausdehnungs-Coëfficient für die Wärme nicht ganz richtig ist. Der berechnete Ausschlag betrug nämlich 27,82 Scalentheile, während der beobachtete 29,78 ausmachte. Vermehrt man die genannte Gradzahl im Verhältnis von 29,78 zu 27,82, so findet man, dass der wirkliche Temperaturzuwachs des Kupferdrahts bei der unter Belastung stattfindenden Zusammenziehung  $0,2391^{\circ}$  betrug. Das Mittel von 10 Beobachtungen ergab  $m = 28,55$  und  $n = 37,81$ . Multiplicirt man  $0,2391$  mit  $\frac{n-m}{m}$ , so erhält man den der mechanischen Arbeit entsprechenden Temperaturzuwachs  $= 0,07755$  Grad. Wenn das mechanische Wärme-Aequivalent auf dieselbe Weise, wie beim Silberdraht, mittelst dieser Angaben berechnet wird, so findet man, dass dasselbe

430,1 Kilogrammeter ausmacht.

*C. Der Messingdraht.* Dieser Draht wurde mit einem Gewicht von 7,577 Pfund gespannt, und bei dieser Belastung streckte sich derselbe 0,001413 Meter. Der nach der mehrgenannten Formel berechnete Temperaturzuwachs wird  $0,2322^{\circ}$ . Vergrößert man diese Zahl aus denselben Gründen, wie bei dem Kupferdraht, im Verhältnis von 35,77 zu 36,46, so wird der wirkliche Temperaturzuwachs des Drahts bei der Zusammenziehung mit Belastung  $0,2366^{\circ}$ .

Das Mittel aus 7 Beobachtungen ergab für  $m$  den Ausschlag 37,97 und für  $n$  51,63. Durch Multiplication der genannten Gradzahl mit  $\frac{n-m}{m}$  erhält man den der mechanischen Arbeit entsprechenden Temperaturzuwachs  $= 0,08511^{\circ}$ . Hieraus findet man, dass das mechanische Wärme-Aequivalent ist:  $= 428,3$  Kilogrammeter

Ich stellte auch Versuche mit dem Stahldraht an, allein dieser gerieth bei der Zusammenziehung ohne Belastung

in eine so starke Bewegung, daß mit demselben keine zuverlässige Bestimmung des Wärme-Aequivalents zu erlangen war. Nimmt man das Mittel der drei erhaltenen Resultate, so wird der Werth des mechanischen Aequivalents der Wärme = 434 Kilogrammeter. Der Gang der Untersuchung zeigt im Uebrigen, daß dieser Werth ganz unabhängig von der inneren Arbeit des Körpers ist

## 9.

Fassen wir die Resultate der obigen Untersuchung zusammen, so gestalten sie sich, wie folgt:

1. Die Gröfse der Temperaturvariationen, die bei der Volumveränderung der Metalle entstehen, wenn diese in der Art geschieht, daß die Moleküle des Körpers dabei nicht in Oscillation gerathen, kann nach der von W. Thomson aus der mechanischen Wärmetheorie deducirten Formel berechnet werden, wenn man in dieser Formel anstatt des mechanischen Aequivalents der Wärme die Zahl 682,73 setzt, in welcher Zahl als Einheiten für Länge und Gewicht das Meter und das Kilogramm genommen sind. Diese Veränderung des Werths der Constante röhrt ohne Zweifel davon her, daß bei der theoretischen Berechnung nicht die gehörige Rücksicht auf die innere Arbeit hat genommen werden können.

2. Hieraus folgt, daß man mittelst derselben Formel unter Rücksichtnahme auf diese Wertheränderung der Constante, bei den Metallen das Verhältniß zwischen den Wärme-capacitäten bei constantem Druck und constantem Volumen berechnen kann, in sofern die übrigen für diesen Zweck erforderlichen Angaben bekannt sind.

3. Der Werth des mechanischen Aequivalents der Wärme wie er durch oben angeführte Versuche mit der Volumveränderung der Metalle erhalten worden, beträgt im Mittel 434 Kilogrammeter. Diese Bestimmung ist unabhängig von der inneren Arbeit des Metalls.

IV.

E

wel-

und

zu

in

auf

rück

we-

gefah-

such

scha-

(Re-

die

hatt-

stro-

des

' mag-

eine-

App-

hem-

men-

des

zur

hab-

durch

der

Ein-

**IV. Ueber die Ladung des Condensators durch  
die Nebenströme der Leydener Batterie;  
von P. Rieß.**

(Monatsber. d. Akad. Juli 1865.)

Es gewährt einen eigenen Reiz, die beiden Elektricitäten, welche in einem Nebendrahte der Batterie erregt werden und darin ihren blitzschnellen Lauf beginnen, zum Stehen zu bringen und sie, wenn auch nur zum geringsten Theile, in den Scheiben eines Condensators festzubannen. Ich bin auf den ersten gelungenen Versuch dieser Art später zurückgekommen, fand aber das Zeichen der Elektricität, welche von einem bestimmten Ende des Nebendrahtes aufgefangen wurde, nicht mehr so constant wie früher, und suchte vergebens, durch eine in den Nebendraht eingeschaltete Weingeistflamme diese Constanze zu erreichen (Repertor. d. Phys. 1842, S. 235). Als ich vor Kurzem die grosse Wirksamkeit des elektrischen Ventils erfahren hatte bei der magnetischen Ablenkung durch den Nebenstrom, gebrauchte ich den Apparat auch bei der Ladung des Condensators. Hätte er das geleistet, was nach den magnetischen Versuchen zu erwarten war, so wäre Dieser einer besondern Mittheilung kaum werth gewesen. Der Apparat wirkte aber in anderer Weise, als sich vorhersehen ließ, und so liefern die neuen Versuche nicht nur einen merkwürdigen Beitrag zur Kenntniß der Wirkungsweise des Ventils, sondern auch zu der der Nebenströme selbst.

**Der Condensator.**

Als bei meinen früheren Versuchen eine Spiegelplatte zur Trennung der Condensatorscheiben gebraucht wurde, habe ich auf die Täuschung aufmerksam gemacht, die dadurch entsteht, daß die Platte bei dem Versuche elektrisch, der Condensator in einen Elektrophor verwandelt wird. Ein Condensator kann aber in zweifacher Weise zur elek-

trophorischen Wirkung gebracht werden, wonach eine und dieselbe Elektricitätsart Anzeigen derselben oder entgegengesetzter Art liefert. Ist die an die Collektorscheibe angebrachte Elektricität von geringer Dichtigkeit, so kann die isolirende Zwischenplatte durch Vertheilung elektrisch werden, und die Collektorscheibe giebt dann Elektricität desselben Zeichens mit der geprüften an. Hat hingegen die geprüfte Elektricität gröfsere Dichtigkeit, so geht sie auf die Zwischenplatte über und die Collektorscheibe erhält elektrophorisch die entgegengesetzte Elektricitätsart (a. a. O. S. 234). Man kann sich von dieser Verwandlung des Condensators in einen Elektrophor leicht überzeugen. Zwei Metallscheiben von 3 Zoll Durchmesser wurden durch eine gefirnißte  $2\frac{1}{8}$  Linien dicke Glasplatte von einander getrennt, die obere Scheibe isolirt, die untere vollkommen abgeleitet. Nachdem die obere Scheibe einige Funken positiver Elektricität erhalten hatte, konnte sie durch Verbindung mit der untern Scheibe nicht vollständig entladen werden, denn abgehoben gab sie einen Funken. Auf die Glasplatte gesetzt, ableitend berührt und abgehoben, zeigte sie sich stark negativ elektrisch und zwar konnte dieser Versuch oft wiederholt werden. Es war ein Elektrophor entstanden, der Elektricität lieferte von der der angewandten entgegengesetzten Art. Wurde hingegen die Collektorscheibe behutsam mit positiver Elektricität geladen, so konnte sie nach einer Minute gleichfalls nicht vollständig entladen werden durch Verbindung mit der untern Scheibe. Abgehoben, entladen, wieder aufgesetzt und ableitend berührt, war sie stark positiv elektrisch geworden und wurde es 12 mal nacheinander. Es war also ein Elektrophor entstanden, der dieselbe Elektricitätsart lieferte, wie die an die Collektorscheibe einmal angebrachte. Dasselbe muß in einem, vor Kurzem von Gaugain beschriebenen Versuche geschehen seyn. Ein Condensator mit Zwischenplatte aus Schellack war so gut isolirt, daß er seine Ladung 15 Minuten lang ungeschwächt behielt. Unmittelbar nach dem Elektrisiren entladen, behielt er keinen Rückstand in der

Collektorscheibe, der  $\frac{2}{3}$  der Ladung betrug, wenn die Entladung erst nach 15 Minuten geschah (*Compt. rend.* T. 59 p. 831). Es ist bekannt, dass in Isolatoren die Influenz-elektricität zu voller Entwickelung einer geraumen Zeit bedarf; wäre in dem letzten Versuche die Collektorscheibe entladen wieder auf die Schellackplatte gesetzt, abgeleitet und abgehoben worden, so würde sie unzweifelhaft Elektricität gleicher Art mit der angewandten gezeigt haben.

Bei der Ladung des Condensators durch einen Nebenstrom der Batterie ist die Collektorscheibe nothwendig durch einen Luftraum von der Nebenschließung getrennt; es geht ein Funke auf die Scheibe und häufig auch auf die isolende Zwischenplatte, die dann lange Zeit elektrophorisch wirkt. Gewöhnlich ist schon die erste Ladung der Collektorscheibe eine elektrophorische und hat dasselbe Zeichen, wie die späteren, die durch Aufsetzen und Abheben der Collektorscheibe erhalten werden. Doch kann auch die erste Ladung eine condensatorische seyn und hat daun das entgegengesetzte Zeichen. In einem Versuche, bei welchem die Condensatorscheiben durch eine Platte von Hartkautschuck getrennt waren und die Lücke der Nebenschließung  $\frac{1}{10}$  Linie betrug, wurde die Collektorscheibe durch den Nebenstrom negativ elektrisch; als sie aber entladen, wieder aufgesetzt und ableitend berührt war, wurde sie positiv, wie in allen späteren Versuchen, die bis eine Stunde nach der Entladung der Batterie fortgesetzt wurden. Es ist daher eine Untersuchung nötig zur Entscheidung, ob die von der Collektorscheibe gelieferte Elektricität gleichen oder entgegengesetzten Zeichens ist mit der, welche sie vom Nebenstrom erhalten hat. Diese Unsicherheit fällt fort bei dem Condensator, dessen Scheiben durch eine Luftschicht getrennt sind, den ich zu den folgenden Versuchen ausschliesslich benutzt habe.

Zwei 81,6 Linien breite Messingscheiben sind vertical auf 8 Zoll langen Glasstäben befestigt und standen in der Entfernung von 5 Linien einander normal gegenüber. Der eine Glasstab steht auf einem Gelenke, die zugehörige

Scheibe kann dadurch unter das Fußbrett heruntergeschlagen und so von der andern Scheibe hinlänglich weit entfernt werden. Die zweite Scheibe, Collektorschabe, steht fest und war durch einen Draht mit der einen Kugel eines Funkenmikrometers verbunden, dessen andere Kugel die zu prüfende Elektricität erhielt. Dieser Apparat gestattet zwar nicht eine so starke Ansammlung von Elektricität durch den Nebenstrom, wie der Condensator mit fester Zwischenplatte, die leicht bis zum Funkengeben geht, dafür ist aber das Zeichen der geprüften Elektricität keiner Zweideutigkeit ausgesetzt, und ohne weitere Untersuchung vollkommen sicher.

**Ladung des Condensators durch den Nebenstrom einer Nebenschließung.**

In den kurzen gutleitenden Schließungsbogen einer aus 3 Flaschen bestehenden Batterie (jede von 2,6 Quadratfuß Belegung) war eine Drahtrolle eingeschaltet von 32 Windungen (30 Fuß eines  $\frac{1}{4}$  Linie dicken Kupferdrahtes), und darüber waren 32 Fuß desselben Drahtes in gleichem Sinne gewunden. Die Drähte waren mit Gutta-percha umpreßt, die Spiralen daher durch eine  $1\frac{1}{4}$  Linie dicke Gutta-perchschicht von einander getrennt. Es wird an der untern (Haupt-) Spirale dasjenige Ende das *innere* genannt, das der (in den folgenden Versuchen mit positiver Elektricität geladenen) innern Belegung der Batterie zunächst lag, das andere Ende als *äußeres* bezeichnet. Die entsprechende Bezeichnung erhalten die Enden der oberen (Neben-) Spirale, so daß also das *innere* Ende der Nebenspirale (-Rolle) über dem innern Ende der Hauptrolle liegt und ebenso das *äußere*. Wird die Nebenspirale, wie später geschieht, mit einer andern Spirale in Verbindung gesetzt, so werden die Bezeichnungen ihrer Enden auf die der neuen Spirale übertragen. Das mit dem innern Ende der Nebenspirale verbundene Ende der neuen Spirale heißt das *innere*, und ebenso das entsprechende einer etwa vorhandenen Nebenspirale höherer Ordnung und so fort. Für alle

an der Schließung der Batterie vorhandenen Spiralen ist also die erste, in die Hauptschließung eingeschaltete Spire maßgebend; bei den übrigen Spiralen ist es gleichgültig, ob das innere Ende derselben der inneren Belegung der Batterie zunächst liegt und das äußere der äußeren. Diese Bezeichnung ist festzuhalten, da sonst einige der später anzuführenden Versuche einem Missverständniß ausgesetzt wären.

Ein Ende der beschriebenen Nebenrolle wurde durch einen Draht mit der drehbaren Scheibe des Condensators verbunden, das andre Ende mit einem elektrischen Ventile<sup>1)</sup> und dies mit der einen (6,3 Linien dicken) Kugel eines Funkenmikrometers, dessen zweite Kugel mit der festen (Collector-) Platte des Condensators in Verbindung stand. Im Ventile war die Messingscheibe 1 Linie von der Deckplatte entfernt. Die Stellung des Ventils wird durch den Theil desselben angegeben, der durch das Mikrometer mit der Collektorplatte verbunden ist. Die Spitze (oder Fläche) des Ventils sey mit dem Collektor verbunden, sagt, daß von der Platin spitze (oder Messingscheibe) des Ventils ein 20 Zoll langer Draht zu der einen Kugel des Mikrometers geführt war, dessen zweite Kugel durch einen 40 Zoll langen Draht mit der Collektorschabe verbunden ist; der nicht genannte Theil des Ventils war mit dem inneren oder äußeren Ende der Nebenrolle durch einen 20 Zoll langen Draht verbunden. Bei der Entladung der Batterie mußte zwischen den Kugeln des Mikrometers ein Funke entstehen; blieb dieser aus, so wurde der Versuch nicht mitgezählt. Nach dem Erscheinen des Funkens wurde die Condensatorscheibe heruntergeschlagen und die dadurch freie Collektorschabe mit dem Ende eines Drahtes berührt, der an einem Goldblatt-Elektroskope befestigt war, dessen Blätter etwa 10 Linien lang, 1 Linie breit waren. Auf die Bestimmung der Divergenz der Goldblätter wurde keine Sorgfalt gewendet, da die Größe dieser Divergenz, bei demselben Versuche in hohem Grade wan-

1) Abgebildet Pogg. Ann. Bd. 120, Taf. VI.

delbar, nur im Durchschnitte zu beurtheilen nöthig erschien. Die Art der aufgesammelten Elektricität ließ ein Säulenelektroskop, an das der Draht des Goldblattelektroskops angelegt wurde, leicht und sicher erkennen; sie wird in den Tafeln durch das den Divergenzen vorgesetzte Zeichen angegeben. In den folgenden Versuchen wurde die Batterie mit der Elektricitätsmenge 6 geladen (Schlagweite der Maafsflasche  $\frac{1}{2}$  Linie), der Druck im Ventile betrug 1 Linie. In Reihe I. waren die Kugeln des Funkenukrometers  $\frac{1}{16}$  Linie von einander entfernt, in Reihe II. diese Kugeln durch zwei niedrige Kegel ersetzt, zwischen deren  $\frac{1}{16}$  Linie von einander entfernten Spitzen der Funke des Nebenstroms erschien.

### Elektricität von der Nebenrolle, gesammelt

#### I.

##### am innern Ende.

Collektor verbunden mit Spalte Fläche des Ventils

##### Divergenz des Elektroskops

— 50°	+ 48
— 45	+ 43

— 64	+ 37, + 22
------	------------

##### am äußern Ende.

— 26	+ 38
------	------

— 32	+ 33
------	------

— 35	+ 34
------	------

#### II.

##### am innern Ende.

— 30	+ 52
------	------

— 65	+ 58
------	------

— 52	+ 60
------	------

##### am äußeren Ende.

— 27	+ 43
------	------

— 28	+ 33
------	------

— 45	+ 30
------	------

Diese Beobachtungsreihen, die vollständig mitgetheilt sind bis auf 3 Fälle, in welchen am äußeren Ende der

Rolle der Funke im Mikrometer und damit die Ladung des Condensators ausblieb, lehren eine neue, merkwürdige Eigenschaft des Ventils kennen. Als in früheren Versuchen der Nebenstrom in der Leitung seinen Kreislauf vollenden konnte, ließ das Ventil, wie die Ablenkung der Magnetnadel zeigte, den Theil des Stromes zu Stande kommen, der im Ventile von der Scheibe zur Spitzte ging. Bei den hier aufgeföhrten Versuchen kann der Nebenstrom nicht in sich zurücklaufen, er stockt in den Platten des Condensators, und durch Wirkung des Ventils wird diejenige Platte positiv elektrisch, welche durch die Leitungsdrähte und das Funkenmikrometer mit der Scheibe des Ventils in Verbindung steht; die mit der Spitzte verbundene Platte wird negativ elektrisch. Daraus folgt die Regel:

*Die Collektorplatte des Condensators wird vom Nebenstrom der Batterie im Sinne eines Stromes geladen, der im Ventile von der Spitzte zur Fläche geht.*

Das Ventil wirkt also in entgegengesetzter Weise auf den in einer Leitung durch einen Condensator unterbrochenen, wie auf den darin vollständig circulirenden Nebenstrom; von dem letzten lässt es den Theil zu Stande kommen, der von der Scheibe zur Spitzte, von dem ersten den, welcher von der Spitzte zur Scheibe des Ventils geht. Es kann nicht auffallen, dass die Regel für den unterbrochenen Strom nicht unbedingte Geltung hat, wie die für den vollständigen. Mit Anwendung eines normalen Ventils habe ich eine regelwidrige Richtung der magnetischen Ablenkung durch den Nebenstrom niemals gesehen, eine regelwidrige Ladung des Condensators nicht selten. Zuweilen war nach dem Uebergange des Funkens im Mikrometer die Collektorplatte nicht elektrisch, zuweilen ihre Elektricitätsart der Regel widersprechend. Doch lassen sich diese Abweichungen seltener machen, wenn man eine gutleitende Schließung und möglichst geringe Ladungen der Batterie gebraucht; deshalb ist in den mitgetheilten Versuchen die Lücke im Mikrometer sehr klein und die geringste Elektricitätsmenge genommen worden, mit welcher jene vom

Nebenstrome durchbrochen wird. Hat man zugleich die Lücke nicht zwischen Kugeln, sondern zwischen Kegelspitzen gebildet, so werden die Ausnahmen von der regelrechten Ladung des Collektors fast ganz vermieden.

In eben der Weise, wie bei dem secundären Strom, wirkt das Ventil, wenn man einen Strom höherer Ordnung zur Ladung des Condensators benutzt. Ich übergehe die Versuche, die ich mit dem Strome dritter und vierter Ordnung angestellt habe, da sie völlig den angeführten entsprachen; von jedem Ende der letzten Spirale der Nebenschließungen wurde der Collektor im Sinne eines Stromes geladen, der im Ventile von der Spitze zur Scheibe läuft.

Es ist erklärlich, dass die Divergenzen des Elektroskops bei gleichen Versuchen an Grösse noch viel verschiedener sind, als bei vollständiger Leitung die magnetischen Ablenkungen. Die Leitung, welche der Nebenstrom hier durchläuft, hat drei Unterbrechungen: eine dauernde, durch den Condensator gebildete, zwei zeitweilige, im Ventile und Mikrometer, die vom Strome durchbrochen werden, Durch die letzten kann nicht nur Elektricität zur Collektorschabe hin, sondern auch von ihr fortgeführt werden, wie die Fälle lehren, in welchen trotz des glänzenden Funken im Mikrometer, die Collektorschabe nicht elektrisch ist. Dass der Strom nicht stets an derselben Stelle des Mikrometers übergeht, lehrte der Anblick der Mikrometerkugeln, deren einander zugekehrte Kuppen einen grossen unregelmässigen Fleck zeigten, der bei der Behauchung nicht getrübt wurde. War deshalb auf die Grösse einer einzelnen Divergenz kein Gewicht zu legen, so konnte doch nicht unbemerkt bleiben, dass, im Ganzen genommen, die Divergenzen grösser waren, wenn die Collektorschabe Elektricität vom *innern*, als wenn sie dieselbe vom *äußern* Ende der Nebenrolle erhielt. Ueberhaupt gelangen die Versuche am sichersten, der Funke im Mikrometer blieb nicht aus, wenn die Drahtverbindung vom Ventile zu dem innern Ende der Nebenrolle geführt, von diesem Ende die Collektorplatte geladen wurde. Dies gilt für die secundäre

Nebenspirale, wie für eine Nebenspirale höherer Ordnung bei welcher die Bezeichnung inneres Ende so zu verstehen ist, wie ich sie oben definiert habe.

Die Leichtigkeit, mit der ein Condensator vom inneren Ende einer Nebenspirale geladen wird, führte zu dem Versuche, die Ladung allein von diesem Ende, ohne Zuziehung des äußern Endes zu erhalten, und Dies gelang vollständig bei allen versuchten Strömen (zweiter, dritter und vierter Ordnung). Ich will ausführlicher den Versuch mit dem tertiären Strome beschreiben. Im Schließungsbogen der Batterie befand sich eine ebene Spirale von 53 Fuss Drahtlänge, dieser gegenüber in 1 Linie Entfernung die gleiche Nebenspirale, deren Enden mit den Enden der oben gebrauchten Cylinderspirale von 30 Fuss Draht verbunden wurden. An der über der letzten gewundenen Nebenspirale blieb das äußere Ende frei, von dem *innern* Ende, es war zufällig von dem Innern der Batterie das entferntere, wurde ein 20 Zoll langer Draht zum elektrischen Ventile, von diesem ein gleicher Draht zu der einen Kugel des Funkenmikrometers geführt, dessen zweite  $\frac{1}{10}$  Linie davon entfernte Kugel durch einen 40 Zoll langen Draht mit der Collektorschabe des Condensators verbunden war. Die Condensatorscheibe, welche nach der Entladung des Stroms unter das Fussbrett heruntergeschlagen wurde, war isolirt und an die Mitte ihrer Rückseite ein starker 11 Zoll langer in eine Kugel endigender Draht angesetzt. Die Batterie wurde mit der Menge 10 geladen, der Druck im Ventile betrug eine Linie.

### III.

Collektorschabe verbunden  
mit Spitze Fläche des Ventils  
Divergenz des Elektroskops

— 25	+ 23
— 21	+ 10

Als das Ende der Leitung vom inneren Ende der tertiären Nebenspirale gelöst und an ihr äußeres Ende geknüpft war, erschien in 6 Versuchen, bei welchen die Elektrici-

tätsmengen 10, 15 und 20 gebraucht wurden, kein Funke im Mikrometer und keine Ladung der Collektorscheibe. Mit gleichem Erfolge wurde der Versuch am Strome vierter Ordnung ausgeführt; am sekundären Strome habe ich ihn öfter angestellt. Einmal, als dieser Strom in der Doppelrolle von 30 Fuß Drahtlänge erregt wurde, gab das innere Ende der Nebenrolle die folgenden Ladungen der Collektorscheibe (im Mikrometer  $\frac{1}{10}$ " von einander entfernte Kegel spitzen, im Ventile 1" Druck, in der Batterie die Elektricitätsmenge 10).

#### IV.

Collektorscheibe verbunden mit Spitze	Fläche des Ventils
Divergenz des Elektroskops	
- 20°	+ 18
- 8	+ 20
- 20	+ 20

Vom äussern Ende der Nebenrolle konnte mit derselben Ladung der Batterie kein Funke im Mikrometer erhalten werden, die Collektorscheibe blieb daher unelektrisch.

Diese Versuche sind aus der Natur des Nebenstromes allein nicht zu erklären. Wenn der Nebenstrom an einer Stelle seiner Leitung eine Schlagweite von  $\frac{1}{10}$  Linie hat, so ist nicht einzusehen, weshalb er an einer 53 und 30 Fuß davon entfernten Stelle diese Schlagweite nicht erreichen sollte. Es ist aber früher gezeigt worden (meiner Elektricitätslehre §. 832) dass mit dem Nebenstrome zugleich stets eine andere Elektricitätsbewegung eintritt, die Seitenentladung, und dass diese es ist, welche den Uebergang des Nebenstromes durch eine Luftschicht möglich macht. Die Schlagweite der Seitenentladung ist von der Stelle des Schließungsbogens abhängig, an der sie eintritt, sie ist desto grösser, je näher diese Stelle dem Innern der Batterie liegt. Mit gleicher Eigenthümlichkeit tritt die Seitenentladung in der secundären Schließung und in den Schließungen höherer Ordnung auf; aus früheren Versuchen (Elektricitätslehre §. 900 mit Figur 172) ist zu ersehen, dass z. B. an

dem **innern** Ende einer tertären Nebenspirale von 53 Fuß Drahtlänge der tertäre Strom eine Schlagweite von 1 Linie besaß bei einer Ladung der Batterie, mit welcher am **äußern** Ende der Spirale noch nicht die Schlagweite von  $\frac{1}{10}$  Linie erreicht war. Die obigen Versuche bilden zu jenen Versuchen Corollare, aber deshalb interessante, weil durch Wirkung des Ventils nicht nur der der Seitenentladung gleichgerichtete, sondern auch der ihr entgegengerichtete Nebenstrom erkennbar durch die Lücke des Mikrometers geht. Die Seitenentladung befördert den Uebergang jedes der beiden Ströme, weil ihr die Wirksamkeit zukommt, die Luft zu verdünnen, die in der Strombahn liegt.

In den Versuchsreihen I. und II. (S. 578), bei welchen beide Enden der Nebenspirale mit den Condensatorscheiben in Verbindung standen, erschien, mit wenigen Ausnahmen, der Funke im Mikrometer bei gleicher Ladung der Batterie, die Collektorplatte mochte mit dem innern oder äußern Ende der Nebenspirale verbunden seyn. Im letzten Falle war es die mit dem innern Ende verbundene Condensatorscheibe, welche die ihr nahestehende Collektorschabe befähigte, die Seitenentladung im Mikrometer zu Stande kommen zu lassen, in eben der Weise, wie die Hauptspirale dies in der Nebenspirale thut. Es treten noch andere bemerkenswerthe Erscheinungen auf bei dem Zusammenwirken der Seitenentladung und des Nebenstroms, die ich hier übergehe, da sie mich zu weit führen, auch ohne Hülfe von Figuren viele Worte nötig machen würden.

#### **Ladung des Condensators durch den Nebenstrom der Hauptschließung.**

Dass die Versuche über die Ladung des Condensators auch mit dem Nebenstrom der Hauptschließung der Batterie anzustellen seyen, konnte nicht in Frage kommen, wohl aber, ob diese bequemen Versuche ausgeführt und gehäuft werden sollten, wie es bei der magnetischen Ablenkung durch den Nebenstrom von mir geschehen ist. Die magnetische Ablenkung durch den Hauptstrom ist in

auffallendster Weise verschieden von der durch den Nebenstrom bewirkten, die Seitenentladung bleibt mit ihrer geringen Elektricitätsmenge dabei ganz außer Spiel, so daß jeder Versuch für sich auf das Deutlichste sprach und kein Wort darüber zu verlieren war, es sey der Nebenstrom der Grund des Erfolges. Bei der Ladung des Condensators ist es anders; sie geschieht durch den Hauptstrom nicht minder stark, wie durch den Nebenstrom, auch die Seitenentladung darf dabei nicht außer Acht gelassen werden. Es ist daher bei jedem Versuche eine Betrachtung nöthig zur Sonderung der Ursachen, die den Erfolg bedingen. Dennoch halte ich es nicht für überflüssig, einige wenige Versuche dieser Art beizubringen, und zwar aus dem folgenden Grunde.

Die negativen Ladungen einer direct mit positiver Elektricität geladenen Batterie, die von Oettingen nachgewiesen hat, (Pogg. Annal. Bd. 115, S. 513) haben Aufmerksamkeit erregt, weil man in ihnen eine Stütze zu finden glaubte einer deductiv gewonnenen Hypothese über den Mechanismus der elektrischen Entladung. Ohne diese Rücksicht würden die negativen Ladungen aus lange vorliegenden Versuchen mit Leichtigkeit abgeleitet worden seyn. Der Nebenstrom einer Nebenschließung ladet einen Condensator, und zwar wurde in den ersten darüber angestellten Versuchen stets *negative* Elektricität von dem Ende der Nebenschließung erhalten, das der mit positiver Elektricität geladenen *inneren* Belegung der Batterie zunächst lag (Pogg. Ann. Bd. 51 S. 357). Später wurde nachgewiesen (Repert. d. Phys. 1842, S. 233), daß von jedem der beiden Enden der Nebenschließung positive und negative Elektricität erhalten werden kann, je nach der Stärke der Ladung der Batterie und der Weite der Lücke, die der Nebenstrom zu durchbrechen hat. Wird nun, und ich glaube nicht, daß die Versuche über die magnetische Ablenkung darüber jetzt noch einen Zweifel lassen, in der Hauptschließung der Batterie ein Nebenstrom erregt, so wird dieser der inneren Belegung der entladenen Batterie,

zu der er durch einen Luftraum übergeht, ebenso gut negative Elektricität zuführen können, wie in den erwähnten Versuchen der dem Innern nächsten Condensatorscheibe. v. Oettingen änderte die Schlagweite der Batterie, also gleichzeitig die Ladung der Batterie und die Weite der Lücke, die der Nebenstrom zu durchbrechen hat, so dass die nach der Schlagweite veränderlichen Ladungen nicht auffallen können. In einem Schließungsbogen von gebräuchlicher Länge und Einrichtung ist der Nebenstrom viel zu schwach, um das Innere der Batterie negativ zu laden, das stets einen Theil der directen positiven Ladung zurückbehält, aber man kann den Strom bekanntlich verstärken durch Verlängerung des Bogens und seine Spiralform. v. Oettingen erhielt nur einigermaßen erhebliche negative Ladungen der Batterie, nachdem er in den Schließungsbogen eine Rolle von ganz ungewöhnlicher Drahtlänge (nach der Angabe über 8 deutsche Meilen) eingeschaltet hatte. Der in einer solchen Rolle erregte Nebenstrom würde auch für viel stärkere Ladungen der Batterie mit negativer Elektricität, als beobachtet wurden, einen genügenden Grund abgeben.

Diese natürlichste, weil inductiv gefundene Erklärung der negativen Rückstände wird durch experimentell einfache Versuche unterstützt. Die Rolle von 30 Fuß Drahtlänge wurde in den kurzen gutleitenden Schließungsbogen einer Batterie von 3 Flaschen eingeschaltet, von jedem ihrer Enden ein Draht zu je einer Scheibe des Condensators geführt. Der zur Collektorscheibe führende Draht war durch das Funkenmikrometer unterbrochen, an dem die Kegel spitzen  $\frac{1}{10}$  Linie von einander entfernt waren. Nach der Entladung der Batterie durch den Fallapparat wurde die Condensatorscheibe heruntergeschlagen, die Collektorscheibe am Goldblattelektroskop geprüft. Nach Ladung der Batterie mit der positiven Elektricitätsmenge 6, erhielt ich, als die Collektorscheibe mit dem innern Ende der Rolle verbunden war

die Divergenzen	— 22°	+ 40	— 40
vom äussern Ende der Rolle	— 32	+ 22	— 23

Die Divergenz mit positiver Elektricität der ersten Zeile und die beiden Divergenzen mit negativer Elektricität der zweiten brauchen nicht vom Nebenstrome der Rolle herzuröhren, sie können durch den Hauptstrom und die Seitenentladung allein erklärt werden. Bei den negativen Divergenzen der zweiten Zeile wäre anzunehmen, dass die Condensatorscheibe direct geladen würde, und diese die Collektorscheibe durch Influenz läde. Die übrigen drei Divergenzen können nur von dem in der Rolle erregten Nebenstrome herrühren.

Es wurde der Draht zwischen Rolle und Condensator-scheibe entfernt und die Condensation durch die isolirte mit Drahtfortsatz versehene Scheibe vollführt. Als die Collektorscheibe mit dem innern Ende der Rolle verbunden war, lieferte die frühere Ladung der Batterie.

die Divergenzen + 20° — 17 — 10 — 8.  
 Die erste Divergenz ist der Seitenentladung, die übrigen sind dem mit dem Hauptstrome gleichlaufenden Nebenstrome der Rolle zuzuschreiben. Nach der Verbindung mit dem äussern Ende der Rolle erschien kein Funke im Mikrometer, keine Ladung des Condensators in drei Versuchen, bei welchen die Batterie mit den Elektricitätsmengen 6, 10 und 15 geladen war. Es ist hier noch deutlicher als früher, dass die Seitenentladung, obgleich mit positiver Elektricität zur Collektorscheibe übergehend, den Uebergang der negativen Elektricität des Nebenstroms erleichtert.

Diese sehr verwickelten Versuche sind noch unsicherer als die ähnlichen mit dem Nebenstrome einer Nebenschaltung angestellten, und man erhält, ohne den Grund davon zu finden, bald Versuche die deutlicher, bald solche, die undeutlicher, als die angeführten, den Nebenstrom verrathen. Sichere, mit einiger Vorsicht zu jeder Zeit dasselbe Ergebniss liefernde Versuche werden durch das Mittel er-

halten, das so gute Dienste in der Nebenschließung geleistet hat, durch das elektrische Ventil.

Die Rolle im Schließungsbogen wurde wieder an beiden Enden mit dem Condensator in Verbindung gesetzt, aber in den Draht zwischen Rolle und Funkenmikrometer ein elektrisches Ventil mit 1 Linie Luftdruck eingeschaltet. Dieser Draht war zuerst am innern, dann am äussern Ende der Rolle befestigt. Die Batterie wurde stets mit der Elektricitätsmenge 6 geladen.

## V.

### Elektricität von der Hauptrolle, gesammelt am innern Ende.

Collektor verbunden mit Spitz Fläche des Ventils.

#### Divergenz des Elektroskops.

— 33°	+ 58
— 53	+ 70
— 43	+ 70
am äusseren Ende.	
— 60	+ 48
— 60	+ 63
— 63	+ 70.

Es ist zu bemerken, dass die drei mit 70 bezeichneten Divergenzen grösser waren, aber an der nur bis dahin sichtbaren Theilung nicht bestimmt werden konnten, und dass zwei Fälle vorkamen, am äussern Rollenende, wo weder Funke noch Ladung des Condensators bemerkt wurde. Die Zeichen der aufgefangenen Elektricität entsprechen durchaus der Regel des Nebenstromes, aber dadurch ist eine Mitwirkung des Hauptstroms und der Seitenentladung bei der Ladung der Collektorplatte nicht ausgeschlossen. Die ungewöhnlich grossen Divergenzen mit positiver und die kleinen mit negativer Elektricität können dieser Mitwirkung zugeschrieben werden. Als die Condensatorscheibe außer Verbindung mit der Rolle gesetzt und isolirt war, gab das innere Ende der Rolle bei Ladung der Batterie mit der Elektricitätsmenge 6 folgende Divergenzen.

## VI.

Collektor verbunden mit Spitze Fläche des Ventils.

— 23°	+ 58
— 30	+ 37
— 25	+ 25.

Von dem äussern Ende der Rolle konnte in 4 Versuchen, bei welchen die Batterie mit der Menge 10 geladen war, keine Divergenz erhalten werden.

Diese Versuche, die ich mit gleichem Erfolge hinsichts der Zeichen der angesammelten Elektricität oft wiederholt habe, sind nur Corollare zu Versuchen des vorigen Abschnitts. Reihe V. stimmt mit I. und II., Reihe VI. mit IV. vollständig überein. In den früheren Versuchen I., II., und IV. wurde die Elektricität an einer Drahtrolle gesammelt, die über der hier gebrauchten Hauptrolle lag, von dieser durch eine dicke Guttaperchaschicht getrennt war, und die Ansammlung konnte einzig und allein einer Elektricitätsbewegung zugeschrieben werden, die Nebenstrom genannt wird. Die jener gleiche und durch das Ventil in gleicher Weise geregelte Elektricitätsansammlung in den Versuchen V. und VI. einer andern Elektricitätsbewegung zuschreiben zu wollen, scheint mir weder geboten noch gerechtfertigt. Ich brauche wol kaum zu bemerken, daß der in einer Rolle von nur 30 Fuß Drahlänge erregte Nebenstrom in den Condensator und nicht in die Batterie ging, weil er von der letzten im Augenblicke seines Entstehens durch einen viel zu breiten Luftraum getrennt war.

---

**V. Das Prismen-Sphärometer;  
von Dr. Meyerstein in Göttingen.**

---

Für manche physikalische und optische Zwecke ist es von Wichtigkeit zu wissen, ob eine Fläche vollkommen eben sey, oder ob sie einer Kugel oder einem Cylinder angehöre, und welches in den beiden letzten Fällen der Krümmungshäbmesser sey. Zu ganz gewöhnlichen Untersuchungen dieser Art lässt sich das Sphärometer von Couchoix gebrauchen; weit genauer aber, als dieses sind die von mir angegebenen Fühlhebel-Sphärometer<sup>1)</sup>). Alle diese Instrumente entsprechen jedoch nicht dem Grade der Genauigkeit, welcher durch optische Hülfsmittel zu erreichen ist, wie z. B. durch die Methode von Oertling<sup>2)</sup>), welche sich allerdings nur auf die Untersuchung von Planflächen beschränkt.

Das hier zu beschreibende Instrument, Prismen-Sphärometer, darf hinsichtlich der Genauigkeit der *optischen* Prüfung von Flächen füglich zur Seite gestellt werden, ist aber wegen des leichtern und bequemeren Gebrauches, derselben unbedingt vorzuziehen. — Ich habe zwei Instrumente construirt, von welchen das Eine *nur* zu Untersuchungen von Planflächen dient, jedoch eine jede Abweichung vom Planum gleich in Zahlen angibt; das andere Instrument hingegen dient ebensowohl zur Untersuchung von Planflächen als auch zur Untersuchung gekrümmter Oberflächen, und es lässt sich mit demselben der Krümmungshäbmesser selbst bestimmen. Beide Instrumente beruhen auf gleichem Prinzip und zwar auf dem der totalen Reflexion.

Ein rechtwinkliches Prisma von Flintglas ist, wie Fig. 11 und 12 Taf. VI es zeigen, zwischen zwei Spitzenschrauben,

1) Gewerbeblatt für das Königreich Hannover, Jahrgang 1844 und Mittheilungen des Gewerbe-Vereins für das Königreich Hannover 1851.

2) Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbeleises im Preussen 1843.

leicht beweglich, aufgehängt. Diese beiden Schrauben haben ihr Gewinde in den zwei gegenüberliegenden Wänden (*aa*) eines Kastens von Messing, welcher zur Grundfläche eine, mit drei Füßen versehene, runde Scheibe hat. Durch die Mitte dieser runden Scheibe geht ein genau abgedrehter cylindrischer Stift, welcher so lang ist, daß wenn die drei Füße auf einem Planum stehen, derselbe sowohl das Planum als auch die Hypotenuse-Fläche des Prismas berührt, wenn diese nahezu parallel mit dem Planum liegt. An der Stelle, wo der Stift das Prisma berührt, ist derselbe mit einem kleinen, hochpolirten und leicht beweglichen stählernen Röllchen versehen; das untere Ende des Stiftes, mit welchem derselbe auf dem Planum steht, geht in ein hochpolirtes Kügelchen, von etwa einem Millimeter Durchmesser, über. Wird nun diese Vorrichtung auf eine Fläche gestellt, welche nur wenig von dem Planum abweicht, so wird der Stift sich heben oder senken und dadurch das Prisma um seine Spitzen Aufhängung drehen. Um diese Drehung wahrnehmen zu können, ist an der einen Wand *b* des Kastens, Fig. 12, welche parallel mit den Aufhängungs-schrauben der Prismen läuft, ein mit einem achromatischen Objectiv versehenes Rohr geschraubt und im Brennpunkte des Objectivs befindet sich ein Fadenkreuz. An der dem Rohre gegenüberliegenden Wand *b'* befindet sich ein vollständiges Fernrohr; im Brennpunkte des Objectivs ist ein in  $\frac{1}{3}$  mm getheiltes Mikrometer angebracht. Wenn nun das Fadenkreuz mit dem mittleren Striche des Mikrometers, bei der Aufstellung des Instrumentes auf einem Planum, zusammenfällt, so wird bei einer Abweichung vom Planum auch eine Abweichung des Fadenkreuzes vom Mikrometer stattfinden. Diese Abweichung läßt sich nun, wie später gezeigt wird, mit Schärfe in Längenmaafs, d. h. um wie viel der mittlere Stift linear verschoben ist, ausdrücken. Da bei diesem Instrumente die beiden Rohre in fester Verbindung mit dem ganzen Systeme sind, so lassen sich mit demselben auch keine großen Abweichungen bestimmen, weil bei einer mäßigen Hebung oder Senkung des Stiftes das Prisma schon

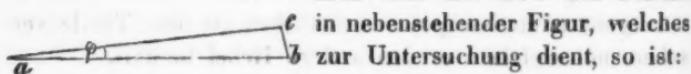
eine so grosse Drehung macht, das alsdann das Gesichtsfeld dunkel erscheinen würde. Um aber dennoch dieses Princip auch für grössere Abweichungen vom Planum, z. B. für die Bestimmung der Krümmungshalbmesser großer Objective, zu verwenden, so habe ich ein zweites Instrument von folgender Einrichtung construirt. Die Aufhängung der Prismen ist ebenso, wie bei dem soeben beschriebenen Instrumente. Die Schraubenspitzen bilden das Centrum zweier Kreise *KK* Fig. 13 und 14 Taf. VI, welche an den Seitenplatten, durch welche die Schrauben gehen, festgeschraubt sind. Zwischen beiden Kreisen befindet sich eine Alhidade *A* Fig. 14, welche sich um zwei Zapfen, mit den Kreisen concentrisch, dreheu lässt, und welche diametral gegenüber, parallel mit den Kreisen, zwei Fernröhre, von derselben Einrichtung wie schon erwähnt ist, trägt (Fig. 13 u. 14). Man wird also, in dieser Anordnung, mit beiden Fernröhren gleichzeitig, einer jeden Drehung des Prisma nicht nur folgen, sondern auch die Drehung desselben messen können, indem einer der beiden Kreise mit einer Eintheilung und die Alhidade mit einem, der Genauigkeit der Messung entsprechenden, Nonius versehen ist. Um diesem Instrumente die größtmögliche Empfindlichkeit zu geben, ohne jedoch an Zuverlässigkeit der Messungen einzubüßen, lasse ich den mittleren Stift nicht unmittelbar auf das Prisma wirken, sondern habe zu diesem Zwecke eine Verbindung von Hebeln genommen, wie Fig. 13 es zeigt. Diese Hebel bewegen sich zwischen gehärteten und fein polirten Spalten, sind richtig balancirt und der eine Hebel ist stets mit einem gehärteten hochpolirten Röllchen an dem Theile versehen, mit welchem er den andern Hebel berührt.

Um dieses Instrument für Flächen von möglichst grossem und kleinem Umfange gebrauchen zu können, lässt sich der Abstand der drei Füsse verändern (Fig. 13 u. 14).

Beim Gebrauch ist das Instrument auf die zu untersuchende Fläche zu stellen, und nachdem man zuvor den Stand der Alhidade gegen den Kreis notirt hat, wenn das Instrument auf einem Planum stand, so hat man jetzt nur

die Fernröhre so zu bewegen, bis dass das Fadenkreuz auf denselben Theilstrich zeigt, wie dieses bei der Stellung auf dem Planum der Fall war. In dieser Stellung liest man den Kreis ab, und die Differenz der Ablesung gegen die vorige Stellung giebt die Anzahl Grade, Minuten oder Sekunden, um welche das Prisma sich gedreht hat. Um aber durch diese Werthe zu finden, wieviel der mittlere Stift vertical verschoben sey, habe ich folgendes Verfahren angewendet. Ich verfertigte ein Prisma von Glas, dessen Flächen sehr eben waren, und bestimme den kleinsten Winkel des Prismas mit Hülfe meines Spectrometers. Dieses Prisma wurde nun mit der einen Fläche (welche dem gemessenen Winkel angehört) auf eine ebene Glasplatte gegen einen in Millimeter getheilten und auf der Glasplatte befestigten Maafsstab gelegt. Auf dem Prisma ist eine feine Linie gezogen um die Lage desselben gegen den Maafsstab zu bestimmen. Nun stellt man das ganze Instrument so auf die Glasplatte, dass der mittlere bewegliche Stift das Prisma berührt, und bewegt dann die Fernröhre bis das Fadenkreuz mit dem mittleren Striche des Mikrometers zusammenfällt. In dieser Stellung liest man die Eintheilung des Kreises ab und, wenn das geschehen, so verschiebt man das Prisma, ohne aber das Instrument wegzunehmen, um 10 oder 20<sup>mm</sup>, macht dieselbe Einstellung der Fernröhre wie vorhin und liest wieder den Stand der Alhidade gegen den Kreis ab. Die Differenz dieser beiden Ablesungen giebt die Höhe der dritten Seite des Prismas. Bezeichnet

man nun mit  $abc$  das Prisma



in nebenstehender Figur, welches zur Untersuchung dient, so ist:

$$bc = ab \tan \varphi$$

und da  $ab$  sowohl wie der Winkel  $\varphi$  mit großer Schärfe zu bestimmen sind, so findet man den Werth für  $bc$ , also die *verticale Verschiebung* des Stiftes mit gleich großer Genauigkeit.

Zu meinen Prüfungen des Instrumentes habe ich drei Prismen von verschiedenen Winkeln angefertigt, um mich

von der Uebereinstimmung der Messungen zu überzeugen.  
Ich lasse die Messungen hier folgen.

Winkel des Prismas	Lage des Prismas gegen	Ableitung der
No. I	Maassstab	Kreistheilung
$0^\circ 41' 0''$	$0^{\text{mm}}$	$0^\circ$
	10	$2 12'$
	20	$4 24 30''$
	30	$6 36 0$

Winkel des Prismas	No. II	
	$1^\circ 21'$	$0^{\text{mm}}$
		0°
		10
		$4 21'$
		20
		$8 42$

Winkel des Prismas	No. III	
	$5^\circ 16'$	$0^{\text{mm}}$
		0°
		10
		$16 59'$

Berechnet man nun aus diesen Messungen die Verschiebung des Stiftes für eine Bogenminute Drehung der Fernröhre, so erhält man

für das Prisma No. I =  $0^{\text{mm}},000903$

" " " " II =  $0 ,000904$

" " " " III =  $0 ,000904$

Will man dieses Prismen-Sphärometer für sehr kleine Flächen, z. B. für Linsen von etwa  $5^{\text{mm}}$  Durchmesser anwenden, so erhält man mit demselben, in Verbindung mit dem von mir beschriebenen Stativen<sup>1)</sup>, sehr befriedigende Resultate.

Die hier beschriebenen Sphärometer werden in meiner astronomischen Werkstatt auf Bestellung fertigt.

Göttingen, im August 1865.

1) Mittheilungen des Gewerbe-Vereins für das Königl. Hannover 1851, wo auch das dabei angewandte Verfahren beschrieben ist.

**VI. Ueber die Zusammendrückbarkeit der Kohlensäure und der atmosphärischen Luft bei 100 Grad Temperatur;**  
**von P. Blaserna,**

Prof. der Physik an der k. Universität in Palermo.

(Aus dem *Giornale di Scienze naturali ed economiche*, Vol. I.,  
 Palermo 1863; vom Hrn. Verf. deutsch übersandt.)

1. Die Zusammendrückbarkeit der Gase ist von vielen Physikern, namentlich von Boyle, Mariotte, Robison, Oersted und Swendtsen, Despretz, Pouillet, Arago und Dulong untersucht und durch ein einfaches Gesetz ausgedrückt worden, welches nach den ersten Entdeckern den Namen des Boyle'schen oder des Mariotte'schen Gesetzes führt. Dieses Gesetz, nach welchem das Volumen der Gase im umgekehrten Verhältnisse zu ihrem Drucke steht, wurde bis in die neuste Zeit, besonders nach den schönen Versuchen von Arago und Dulong<sup>1</sup>), wenigstens für die sogenannten permanenten Gase für richtig gehalten, während für jene, welche tropfbar flüssig dargestellt werden können, dessen Unrichtigkeit allgemein anerkannt ist.

Die Wissenschaft verdankt Regnault eine neue Reihe von Untersuchungen über diesen Gegenstand, angestellt nach einer Methode, welche alle früheren an Genauigkeit übertrifft<sup>2</sup>). Regnault macht den früheren Arbeiten, und namentlich Arago's und Dulong's Versuchen den gewichtigen Vorwurf, dass ihre Apparate bei zunehmendem Drucke stets unempfindlicher wurden. Arago und Dulong hatten nämlich in grossen Dimensionen ein Manometer angefertigt, ähnlich denjenigen, welche noch jetzt zur

1) *Mémoires de l'Académie des sciences* T. X., und *Ann. de Chim. et Phys.* 2. série T. XLIII.

2) *Mémoires de l'Acad. des sciences* T. XXI, p. 329. Siehe daselbst eine vollständige Kritik aller früheren Arbeiten.

Schuldemonstration überall angewendet werden, und woselbst mittelst einer länger und länger werdenden Quecksilbersäule ein kleines Volumen des betreffenden Gases in einer Glasmöhre unter einem leicht zu bestimmenden Drucke abgesperrt wird. Da bei hohem Drucke das Volumen des Gases sehr gering wird, so ist es leicht möglich, daß unscheinbare Differenzen, wie sie Arago und Dulong wirklich und zwar stets in demselben Sinne fanden, eine nicht unbeträchtliche Abweichung vom Mariotte'schen Gesetze anzeigen.

Um diesen Uebelstand abzuhelfen, füllte Regnault in seine zwei Meter lange Glasmöhre schon verdichtetes Gas ein, reducire dessen Volum nur auf die Hälfte oder auf ein Drittel und bestimmte am offenen Quecksilbermanometer die dazu gehörigen Drucke. Dann verdichtete er das Gas in der Röhre, führte es auf sein ursprüngliches Volumen zurück, und reducire es abermals auf die Hälfte, während er bei jeder Operation den Druck am Manometer bestimmte. Auf diese Weise war sein Apparat stets gleich empfindlich, und gestattete selbst sehr geringe Differenzen mit Sicherheit zu messen. So gab Regnault eine sehr genaue Tabelle für die Zusammendrückbarkeit der Koblenzsäure und fand, daß das Mariotte'sche Gesetz weder für atmosphärische Luft, noch für Stickstoff, noch für Wasserstoff richtig ist.

Sey  $\varphi$  das Volumen des untersuchten Gases unter dem Normaldruck einer Quecksilbersäule von einem Meter Höhe und  $v$  das Volumen desselben unter dem Drucke von  $p$  Metern; nach oben genanntem Gesetze müßte der Werth  $\frac{p}{1} \cdot \frac{v}{\varphi}$  stets = 1 seyn, während Regnault fand, daß dieser Werth bei zunehmender Verdichtung mehr und mehr von der Einheit abweicht und für alle von ihm untersuchten Gase, mit Ausnahme des Wasserstoffs, kleiner, für Wasserstoff hingegen stets größer als 1 ist, wie man leicht aus folgenden Beispielen ersehen kann:

$\frac{P}{T} \cdot \frac{v}{\varphi}$	Werthe von $\frac{P}{T} \cdot \frac{v}{\varphi}$ für		
	Kohlensäure	Atmosph. Luft	Wasserstoff
1	1,00000	1,00000	1,00000
5	0,96576	0,99589	1,00232
10	0,92262	0,99162	1,00561
15	0,87913	0,98832	1,00931
20	0,83527	0,98599	1,01344

Das Gesetz der Zusammendrückbarkeit der Gase ist also viel complicirter, und kann, innerhalb der jetzigen Beobachtungsgränzen durch die empirische Formel:

$$\frac{P}{T} \cdot \frac{v}{\varphi} = 1 - A_0 \left( \frac{\varphi}{v} - 1 \right) \pm B_0 \left( \frac{\varphi}{v} - 1 \right)^2 = A \dots (1)$$

ausgedrückt werden, worin  $A_0$  für alle Gase, mit Ausnahme des Wasserstoffs, sein negatives Zeichen behält, für Wasserstoff hingegen positiv wird.

Diese Versuchsreihen wurden von Regnault bei niedriger Temperatur, soviel als möglich in der Nähe von  $0^\circ$  angestellt. Für höhere Temperaturen besteht keine Experimentaluntersuchung darüber; aber man kann sich leicht davon eine angenäherte Vorstellung machen. Die Gase sind nichts anders als von dem Punkte des tropfflüssigen Zustandes und von ihrem Sättigungspunkte entfernte Dämpfe, die sich desto mehr dem Mariotte'schen Gesetze nähern, je weiter sie von ihrem flüssigen Zustande entfernt sind. Das Mariotte'sche Gesetz repräsentirt also gewissermaßen einen, vielleicht idealen, Zustand der Vollkommenheit, den man bisher von den permanenten Gasen erreicht glaubte, und dem sich diese letztern wenigstens schon sehr nähern; abgesehen vom Wasserstoff, dessen Zustand Regnault mehr als vollkommen nannte, und welcher jedenfalls einer ausgedehnteren Förschung werth ist. Da nun die Wärme die Dämpfe von ihrem Sättigungs- und Flüssigkeitspunkte entfernt, so ist es sehr natürlich, anzunehmen, dass bei höheren Temperaturen die Gase das Mariotte'sche Gesetz befolgen oder wenigstens weniger als bei niedriger Temperatur von demselben abweichen.

Es wäre gewiss sehr wünschenswerth, und für die Moleculartheorie der Gase von grossem Interesse, durch eine Experimentalforschung die Richtigkeit dieses Schlusses zu bestätigen. Doch würde es außerordentlich schwierig seyn, dies direct durchzuführen. Ein Gas in einer langen Glassröhre zu erhitzen und für einige Zeit in constanter Temperatur zu erhalten, seine Volumina zu messen, die Quecksilberdämpfe zu vermeiden oder wenigstens in Rechnung zu ziehen, bequeme und feste Verkittungen zu machen und für alle die übrigen Bedingungen einer exacten Messung Sorge zu tragen, ist wahrlich nicht leicht, und hat selbst einen so ausgezeichneten Forscher, wie Regnault, davon abgeschreckt. Aber es giebt eine andere, weniger directe, doch sichere und auf keine Hypothese gegründete Methode, die ich vor mehreren Jahren angegeben habe<sup>1)</sup>, die Zussammendrückbarkeit der Gase bei hoher Temperatur aus einer anderen Reihe von Erscheinungen abzuleiten, die mehr zu Experimentaluntersuchungen geeignet sind.

3. In seinen Untersuchungen über die Ausdehnung der Gase<sup>2)</sup> hat Regnault zuerst den Unterschied zwischen dem Ausdehnungscoefficienten bei constantem Drucke und dem bei constantem Volumen eingeführt und zugleich nachgewiesen, dass weder der eine, noch der andere vom Druck unabhängig ist, wie es dem Gay-Lussac'schen Gesetz zufolge seyn sollte. Im Folgenden werde ich zeigen, dass für ein Gas, welches dem Mariotte'schen Gesetz folgt, oder welches wenigstens bei 0° und bei 100° Temperatur eine gleiche Abweichung von jenem Gesetze zeigt, der Ausdehnungscoefficient vom Druck unabhängig, also constant seyn muss, welches auch sein Grad der Verdichtung seyn mag. Die Differenz in den Ausdehnungscoefficienten, welche Regnault für verschiedene Drucke eines und desselben Gases fand, hängt somit gewissermaassen von der Differenz der Abweichungen ab, welche das Gas

1) *Diario del Congresso scientifico di Siena* 1862.

2) *Mémoires de l'Acad. des sciences* T. XXI p. 15.

für jene zwei Temperaturen vom Mariotte'schen Gesetz erleidet.

Man kann somit die Zusammendrückbarkeit eines Gases bei  $100^{\circ}$  Temperatur von jener bei  $0^{\circ}$  und von den, den verschiedenen Drucken entsprechenden Ausdehnungscoefficienten ableiten. In der That sey

bei  $0$  Grad  $v$  das Volumen,  $p$  der Druck ausgedrückt in Metern und  $\varphi$  das Volumen entsprechend dem Druck  $1$

bei  $T$  Grad  $v'$  das Volumen bei ungeändertem Druck  $p$  und  $\varphi'$  das Volumen entsprechend dem Druck  $1$

Seyen ferner  $\alpha_p$  und  $\alpha$  die Ausdehnungscoefficienten des Gases für die constanten Drucke  $p$  und  $1$ , so erhält man

$$\left. \begin{aligned} \frac{v'}{v} &= 1 + \alpha_p T \\ \frac{\varphi'}{\varphi} &= 1 + \alpha T \end{aligned} \right\} \dots \quad (2)$$

Da die Zusammendrückbarkeit des Gases bei  $0^{\circ}$  bekannt ist, so kann man sie durch Formel (1) als Function der Verdichtung, oder, was für unsern Fall vortheilhafter ist, durch die Formel

$$\frac{1}{p} \cdot \frac{\varphi}{v} = 1 + a_0(p - 1) + b_0(p - 1)^2 = A_p \quad (3)$$

ausdrücken, in der die Verdichtung  $\frac{\varphi}{v}$  als Function des Druckes erscheint. Auf dieselbe Weise schreiben wir für die Zusammendrückbarkeit des Gases bei  $T$  Graden

$$\frac{1}{p} \cdot \frac{\varphi'}{v'} = 1 + a_1(p - 1) + b_1(p - 1)^2 = D_p \quad (4)$$

woraus durch Division von (3) und (4) und Substitution von (2):

$$\left. \begin{aligned} \frac{1 + \alpha_p T}{1 + \alpha T} &= \frac{A_p}{D_p} \\ D_p &= \frac{1 + \alpha T}{1 + \alpha_p T} \cdot A_p \end{aligned} \right\} \dots \quad (5)$$

folgt.

Aus dieser Formel ersieht man, dass für ein Gas, wel-

ches sowohl bei 0, als bei  $T$  Graden das Mariotte'sche Gesetz befolgt

$$\alpha_p = D_p = 1,$$

folglich auch

$$\alpha_r = \alpha$$

ist.

Wenn das Gas jenes Gesetz nicht befolgt, aber von demselben für jene zwei Temperaturen gleich abweicht, bleibt immer

$$\alpha_p = D_p$$

folglich auch

$$\alpha_r = \alpha$$

In diesen beiden Fällen, und nur in diesen, ist der Ausdehnungscoefficient vom Druck unabhängig. Die Formel (5) giebt uns also ein sehr einfaches Mittel an die Hand, die Zusammendrückbarkeit eines Gases bei  $T$  Graden zu berechnen, so oft die übrigen Daten bekannt sind.

4. Der Ausdehnungscoefficient der Kohlensäure bei constantem Druck zwischen 0 und 100 Graden ist von Regnault für neun Drucke bestimmt worden, welche von dem einer Atmosphäre bis zu dem von fast 12 Metern variiren<sup>1)</sup>. Ich habe diese verschiedenen Werthe auf Taf. VII aufgetragen und daraus folgende empirische Formel abgeleitet:

$$1 + 100 \alpha = 1,36600 + 0,006350 p + 0,0003200 p^2 \quad (6)$$

Für die Zusammendrückbarkeit der Kohlensäure giebt Regnault selbst folgenden Ausdruck:

$$\frac{1}{p} \cdot \frac{q}{v} = 1 + 0,0080581 (p - 1) \\ + 0,0002679 (p - 1)^2 = D_p \quad (7)$$

Die Formel (5) könnte also für diesen Fall ohne weiteres benutzt werden. Aber da Regnault's Versuche, aus denen die Formel (7) abgeleitet ist, nicht bei  $0^\circ$ , sondern bei der mittleren Temperatur  $\tau = 3^\circ,25$  angestellt wurden, so ist es nöthig, jene Formel durch folgende zu ersetzen:

$$D_p = \frac{1 + 100 \alpha}{1 + 100 \alpha_p} \cdot \frac{1 + \alpha_p \tau}{1 + \alpha \tau} D_p \quad . . . \quad (8)$$

1) *Mémoires de l'Acad. des sciences T. XXI, p. 117 et T. XXVI p. 575.*

welche zwar nicht absolut richtig ist, weil sie eine vollkommen gleichförmige Ausdehnung des Gases für alle mittleren Temperaturen von  $0^\circ$  bis  $100^\circ$  voraussetzt, jedenfalls aber wegen der Kleinheit des Werthes von  $\tau$  vollkommen hinreicht. Man erhält daraus

$$D_p = \frac{1}{p} \cdot \frac{p'}{v'} = 1 + 0,003298 (p - 1) \\ + 0,0000117 (p - 1)^2 \quad (9)$$

und durch Umkehrung

$$D_v = \frac{p}{1} \cdot \frac{v'}{p'} = 1 - 0,003287 \left( \frac{p'}{v'} - 1 \right) \\ + 0,0000101 \left( \frac{p'}{v} - 1 \right)^2 \quad (10)$$

Diese letztere Formel, welche die Zusammendrückbarkeit, als Function der Verdichtung ausdrückt, zeigt, dass die Kohlensäure selbst bei 100 Graden das Mariotte'sche Gesetz nicht befolgt, doch von demselben viel weniger abweicht als bei  $3^\circ,25$ . Man erhält daraus folgende Werthe:

$\frac{p'}{v'} = 1$	5	10	15	20
$\frac{p}{1} \cdot \frac{v}{p'} = 1,00000$	0,98701	0,97123	0,95595	0,94118

welche diese kleinere Abweichung deutlich anzeigen.

5. Für die atmosphärische Luft wird die Rechnung auf ähnliche Weise geführt. Aus einer Reihe von Beobachtungen, welche vom normalen Druck einer Atmosphäre bis zu dem von 14 Metern reichen, hat Regnault eine empirische Exponentialformel von folgender Form für den Ausdehnungscoefficienten bei constantem Drucke abgeleitet<sup>1)</sup>:

$$1 + 100\alpha_p = a - b \cdot m^p$$

worin

$$\alpha = 1,4114540$$

$$\log b = 8,6575773 - 10; \log m = 9,9850131 - 10.$$

Wenn man die aus dieser Formel abgeleiteten Werthe zugleich mit den aus Regnault's Versuchen über die Zusammendrückbarkeit der Luft bei  $4^\circ,75$  berechneten in die Rechnung einführt, findet man, dass die atmosphärische

1) *Mémoires etc. T. XXVI, p. 572.*

Luft bei  $100^{\circ}$  ungemein wenig vom Mariotte'schen Gesetze abweicht, und zwar manchmal mit positiven, manchmal mit negativen Differenzen, die man leicht den Beobachtungsfehlern zuschreiben könnte. Der einfachste Schluss wäre nun, dass die Luft bei jener Temperatur genau dem Mariotte'schen Gesetze folgt. Wir glauben aber, dass dieser Schluss nicht ganz richtig ist. Für den gewöhnlichen Druck einer Atmosphäre hat Regnault durch fünf verschiedene Beobachtungsmethoden nachgewiesen, dass der Ausdehnungscoefficient der Luft bei constantem Druck gleich 1,3670, jener bei constantem Volumen gleich 1,3665 ist, somit zwischen beiden eine kleine Differenz besteht. Es ist nun ganz unwahrscheinlich, dass diese Differenz für höhere Drucke verschwindet; wir müssen vielmehr nach alle dem, was wir über die Molecularconstitution der Gase wissen, annehmen, dass diese Differenz bei zunehmendem Drucke immer grösser seyn werde. Wir werden aber später in 6. nachweisen, dass diese Differenz nur von der Abweichung der Luft vom Mariotte'schen Gesetze bei  $100^{\circ}$  abhängt, wodurch also diese Abweichung gewissermaassen *a priori* festgestellt ist. Wir haben deshalb für den Ausdehnungscoefficienten der Luft folgende parabolische Formel berechnet:

$$1 + 100\alpha_p = 1,36585 + 0,001562p - 0,0000262p^2 \quad (11),$$

welche etwas von der Regnault'schen abweicht, aber ebenso gut wie jene die Beobachtungen wieder giebt.

Andererseits bestimmen wir die Zusammendrückbarkeit der Luft für die Temperatur von  $4^{\circ},75$  aus den Regnault'schen Beobachtungen mittelst folgender Formel

$$\alpha_p = \frac{1}{p} \cdot \frac{q}{v} = 1 + 0,0011193(p - 1) - 0,00001925(p - 1)^2 \quad (12)$$

Diese Werthe in Formel (8) eingeführt, und darin  $\tau = 4,75$  gesetzt, giebt folgenden Ausdruck

$$D_p = \frac{1}{p} \cdot \frac{q'}{v} = 1 + 0,000084(p - 1) - 0,0000016(p - 1)^2 \quad (13)$$

woraus durch Umkehrung

$$D_v = \frac{p}{1} \cdot \frac{v'}{v} = 1 - 0,000111 \left( \frac{v'}{v} - 1 \right) + 0,0000025 \left( \frac{v'}{v} - 1 \right)^2 \quad (14)$$

folgt.

Man ersieht aus dieser Formel, welche die Zusammendrückbarkeit der Luft bei  $100^{\circ}$  als Function der Verdichtung ausdrückt, daß die Abweichungen vom Mariotte'schen Gesetz gering sind, daß man sie vernachlässigen könnte, wenn man nicht schon *a priori* eine kleine Abweichung hätte zugestehen müssten. In der That findet man, daß für

$\frac{v'}{v} = 1$	5	10	15	20
$\frac{p}{1} \cdot \frac{v'}{v} = 1,00000$	0,99959	0,99919	0,99894	0,99879

6. Da nun die Zusammendrückbarkeit der Kohlensäure und der Luft bekannt ist, so ist es leicht, den Ausdehnungscoefficienten dieser Gase bei constantem Volumen, für welchen sehr wenige Beobachtungen vorliegen, direct zu berechnen.

In der That seyen, wie vorher,  
bei 0 Grad  $v$  das Volumen,  $p$  der Druck ausgedrückt  
in Metern  
und  $\varphi$  das Volumen für den Druck 1;  
seyen ferner  
bei  $T$  Grad  $v$  das constant gehaltene Volumen,  $p'$  der  
neue Druck  
und  $\varphi'$  das Volumen für den Druck 1;  
so hat man die bekannten Relationen

$$\frac{p}{1} \cdot \frac{v}{\varphi} = 1 - A_0 \left( \frac{v}{\varphi} - 1 \right) + B_0 \left( \frac{v}{\varphi} - 1 \right)^2.$$

$$\frac{p'}{1} \cdot \frac{v}{\varphi'} = 1 - A_1 \left( \frac{v}{\varphi'} - 1 \right) + B_1 \left( \frac{v}{\varphi'} - 1 \right)^2$$

Nennt man von  $\beta_p$  den Ausdehnungscoefficienten bei constantem Volumen und für den Druck  $p$  bei 0 Grad, so hat man

$$\frac{p'}{p} = 1 + \beta_s T$$

$$\frac{q'}{q} = 1 + \alpha T$$

folglich durch Division der obigen Gleichungen

$$1 + \beta_s T = (1 + \alpha T) \cdot \frac{1 - A_1 \left( \frac{q'}{q} - 1 \right) + B_1 \left( \frac{q'}{q} - 1 \right)^2}{1 - A_0 \left( \frac{q'}{q} - 1 \right) + B_0 \left( \frac{q'}{q} - 1 \right)^2} \quad (15)$$

eine Gleichung, in deren zweitem Theil alles bekannt ist, wenn man berücksichtigt, daß

$$\frac{q'}{q} = \frac{q}{v} (1 + \alpha T)$$

ist.

Auf ähnliche Weise kann man statt der Formel (5) auch folgende ableiten:

$$1 + \alpha_s T = (1 + \alpha T) \cdot \frac{1 - A_1 \left( \frac{p'}{p} - 1 \right) + B_1 \left( \frac{p'}{p} - 1 \right)^2}{1 - A_0 \left( \frac{p'}{p} - 1 \right) + B_0 \left( \frac{p'}{p} - 1 \right)^2}$$

Vergleicht man diese Formel mit (15), so ersieht man, daß der Ausdehnungscoefficient bei constantem Druck  $\alpha_s$ , von dem bei constantem Volumen  $\beta_p$ , nur in jenem Factor differirt, welcher die Zusammendrückbarkeit des Gases bei  $T^o$  angiebt. Für den Fall also, und nur für diesen, daß das Gas bei  $T^o$  das Mariotte'sche Gesetz befolgt, hat man  $A_1 = 0$ ,  $B_1 = 0$  und die beiden Ausdrücke werden identisch, folglich müssen auch die beiden Ausdehnungscoefficienten identisch seyn. Aus dem Unterschiede dieser letztern kann man somit, wie wir es für die Luft gethan haben, auf eine Abweichung vom Mariotte'schen Gesetz für  $T^o$  mit Sicherheit schließen.

Aus Formel (15) haben wir die Werthe von  $1 + 100\beta_s$ , abgeleitet und hiefür folgende empirische Ausdrücke gefunden.

Für die Kohlensäure

$$1 + 100\beta_s = 1,36540 + 0,004530 p + 0,0002330 p^2 \quad (16)$$

Für atmosphärische Luft

$$1 + 100\beta_s = 1,36540 + 0,001500 p - 0,0000257 p^2 \quad (17)$$

7. Um den Sinn dieser Untersuchungen ersichtlicher zu machen, haben wir die wichtigsten der bisher entwickelten Formeln geometrisch auf Tafel VII aufgetragen. Für die Zusammendrückbarkeit der Gase sind die Werthe der Verdichtungen  $\frac{p}{v}$  und  $\frac{p'}{v'}$  als Abscissen, als Ordinaten hingegen die jeweiligen Werthe von  $\frac{p}{1} \cdot \frac{v}{p}$  oder  $\frac{p}{1} \cdot \frac{v'}{p'}$  angenommen. Nur sind diese Ordinatenwerthe, der größern Klarheit wegen, noch mit 100 multiplicirt.

Auf diese Weise stellt die Curve (5) die Regnault'schen Werthe für die Zusammendrückbarkeit der Kohlensäure bei  $3^{\circ},25$  vor. Curve (6) giebt die Werthe der Zusammendrückbarkeit der Kohlensäure bei  $100^{\circ}$  an, wie sie aus Formel (10) abgeleitet werden können<sup>1)</sup>. Curve (8) stellt die Zusammendrückbarkeit der Luft bei  $4^{\circ},75$  nach Regnault, Curve (9) jene der Luft bei  $100^{\circ}$  nach Formel (14), endlich Curve (10) jene des Wasserstoffgases für die Temperatur von  $6^{\circ}$  nach Regnault dar. Zum näheren Verständniß ist noch hinzuzufügen, daß alle diese Ordinatenwerthe auf der linken Seite der Tafel abgelesen werden müssen, und daß für ein Gas, welches das Mariotte'sche Gesetz befolgt, seine Curve mit der horizontalen Linie 100 zusammenfallen muß, und daß überhaupt die Curven sich desto mehr dieser horizontalen Linie nähern, je weniger die betreffenden Gase von jenem Gesetze abweichen.

Auf ähnliche Weise sind auch die Ausdehnungscoefficienten aufgetragen. Für diese sind als Abscissen die verschiedenen Drucke, in Metern ausgedrückt, angenommen. Als Ordinaten, welche auf der rechten Seite der Tafel abgelesen werden müssen, figuriren die jeweiligen Ausdehnungen von  $0^{\circ}$  bis  $100^{\circ}$  (also die Werthe von  $100\alpha_p$  und  $100\beta_p$ ) noch mit 100 multiplicirt. So stellt die Curve (1) die Ausdehnungscoefficienten der Kohlensäure bei constantem Druck, die direct aus Formel (6) berechnet wurden, und die kleinen mit 1 bezeichneten Kreuze die Beobachtun-

1) Ueber die Bedeutung der punkirten Curve (7) siehe Ende dieses Aufsatzes in 9.

gen vor, aus denen die Formel abgeleitet wurde. Curve (2) giebt die Ausdehnungscoefficienten der Kohlensäure bei constantem Volumen nach Formel (16) und die mit 2 bezeichneten Kreuze stellen die wenigen Beobachtungen vor, welche dort, wo sie existiren, sehr gut mit der theoretisch abgeleiteten Curve übereinstimmen. Für die atmosphärische Luft stellen Curve (3) und die kleinen geraden Kreuze ohne Ziffer die Ausdehnung bei constantem Druck, Curve (4) und die schießen Kreuze die Ausdehnung bei constantem Volumen vor.

Alle diese Curven haben, wie man aus der Tafel er sieht, einen sehr regelmässigen Verlauf, und stimmen recht gut mit den Beobachtungen überein, wenn man bedenkt, dass die jeweiligen Ausdehnungscoefficienten mit 10000 multiplizirt als Ordinaten figuriren und somit in grossem Maassstabe aufgetragen sind. Dies gilt nicht nur von den Curven (1) und (3), welche direct aus den Beobachtungen abgeleitet wurden, sondern auch von den theoretisch berechneten Curven (2) und (4), für welche die verschiedenen Beobachtungen später nur als Controle unserer Methode aufgetragen wurden.

8. Fassen wir die aus diesen Rechnungen gezogenen Resultate zusammen.

In seinen Untersuchungen über die Zusammendrückbarkeit der Gase, hat Regnault sie in drei verschiedene Categorien getheilt:

a) Gehören zur ersten alle jene, für welche die Grösse  $\frac{P}{T} \cdot \frac{v}{q}$  kleiner als 1 und in unserer Tafel durch eine bezüglich der Abscissenaxe (oder besser gesagt, bezüglich der der Ordinate 100 entsprechenden Axe) convexe Curve dargestellt ist. Dazu gehören die Kohlensäure bei 3°,25 und wahrscheinlich alle bisher flüssig dargestellten Gase.

b) Zur zweiten gehören jene, für welche die Grösse  $\frac{P}{T} \cdot \frac{v}{q}$  zwar kleiner als 1 ist, aber bezüglich derselben Axe durch eine concave Curve ausgedrückt ist. Dazu gehören

die sogenannten permanenten Gase, Sauerstoff, Stickstoff, atmosphärische Luft, mit Aufnahme des Wasserstoffs.

c) Zur dritten Categorie gehören endlich jene, für welche die Grösse  $\frac{P}{T} \cdot \frac{v}{\varphi}$  grösser als 1 ist, und somit durch eine die Axe 100 übersteigende Curve dargestellt ist. Dazu gehört von den bekannten Gasen nur der Wasserstoff.

In den zwei ersten Fällen werden die betreffenden Gase mehr, im letzten Falle weniger zusammengedrückt, als es dem Mariotte'schen Gesetze zufolge seyn sollte.

Wenn man nun die Curven der Tafel VII betrachtet, übersieht man leicht, dass die Kohlensäure bei  $100^\circ$  zwischen jener bei  $3^\circ,25$  und der atmosphärischen Luft bei  $4^\circ,75$  ihren Platz findet, aber dass ihre Curve schon in die 2. Categorie, die der permanenten Gase, übergegangen ist. Die Spannkraft des Dampfes der flüssigen Kohlensäure ist für jene hohe Temperatur nicht bekannt. Aber wenn man die von Regnault für Temperaturen zwischen  $-25^\circ$  und  $+45^\circ$  gezeichnete Curve<sup>1)</sup> dem Augenmaas nach und in roher Approximation verlängert, kann man sie beiläufig auf 150 Meter schätzen, eine Ziffer, welche wahrscheinlich zu gross ist, wenn man bedenkt, dass jene Curve bei  $+25^\circ$  einen Inflexionspunkt besitzt, und von dort an weniger rasch steigt, als man erwarten sollte. In jedem Fall aber kann man mit Sicherheit feststellen, dass jener Werth um ein Beträchtliches die Zahl 100 übersteigen muss, und dass daher die Kohlensäure bei  $100^\circ$  Temperatur nur durch den Druck einer Quecksilbersäule von mehr als 100 und vielleicht von 150 Metern Höhe tropfbar flüssig dargestellt werden könnte, während man denselben Zweck bei  $0^\circ$  schon durch einen Druck von kaum 27 Metern erreicht. Erwägt man nun, dass die Luft bei der gewöhnlichen Temperatur sich viel mehr dem Mariotte'schen Gesetze nähert, als die Kohlensäure bei  $100^\circ$ , so ersieht man leicht, wie wenig Hoffnung man haben kann, die Luft, oder deren Bestandtheile durch bloßen Druck flüssig zu machen, wenn man nicht

1) *Mémoires de l'Acad. T. XXVI p. 625.*

zugleich Sorge trägt, ihre Temperatur um ein Bedeutendes, wenigstens bis auf den Siedepunkt der flüssigen Kohlensäure, zu erniedrigen.

Was die atmosphärische Luft anbelangt, so ersieht man aus Tafel VII, dass sie bei  $100^{\circ}$  ungemein wenig vom Mariotte'schen Gesetze abweicht. Vergleicht man diese verschiedenen Curven, so wird der Schluss gerechtfertigt erscheinen, dass die Kohlensäure vielleicht schon bei 200 Graden sich wie die Luft bei  $0^{\circ}$  betragen muss, und nur für eine noch höhere Temperatur genau dem Mariotte-Gesetze folgen kann. Es ist ferner wahrscheinlich, dass die Luft bei hohen Temperaturen, vielleicht schon bei 200 Graden den Typus des Wasserstoffs annimmt, d. h. dass ihre Curve über die der Ordinate 100 entsprechende Axe fällt.

Dieser letzte Schluss scheint mir sehr wichtig und ich behalte mir vor, darauf experimentell zurückzukommen, sobald ich die dazu nötigen Apparate in meinem Cabinete werde aufgestellt haben.

Auch die Ausdehnungscoefficienten, welche auf das untere Ende der Tafel VII aufgetragen sind, zeigen zwei verschiedene Typen. Für die Kohlensäure steigen die zwei Curven der Ausdehnung bei *constantem Druck* und bei *constantem Volumen* sehr rasch, und sind bezüglich der Absissenaxe convex; für Luft steigen sie weniger rasch und sind concav. Stets bleibt jedoch die bei constantem Druck höher als die bei constantem Volumen. Es ist jedoch auffallend dass diese Curven, so verschieden in ihren Werthen, für unendlich abnehmenden Druck gegen einen Gränzwerth convergiren, der für alle beiläufig denselben Werth besitzt, wie man leicht aus folgenden Ziffern ersieht:

	$1 + 100 \alpha_p$	$1 + 100 \beta_p$
Kohlensäure	1,36600	1,36540
Luft	1,36585	1,36540

Man kann die kleinen Differenzen ohne Schwierigkeit den Beobachtungsfehlern zuschreiben, die auch in die berechneten Werthe eingehen, und kann sagen, dass in je-

nem fast idealen Zustande der Verdünnung alle Gase einen und denselben Ausdehnungscoefficienten besitzen, dessen Werth nicht viel von 0,003654 abweichen kann. Das Gay-Lussac'sche, ebenso wie das Mariotte'sche Gesetz drückt also einen idealen Zustand aus, der in der Natur nicht vorkommt, aber dem sich die Gase in gewissen Bedingungen sehr nähern können<sup>1)</sup>.

9. Aus diesen Rechnungen wollen wir noch einen Schluss ziehen. Nehmen wir ein Volumen Kohlensäure bei 3°,25, so ist seine Zusammendrückbarkeit durch Formel (10) und die ihr entsprechende Curve vollkommen bestimmt. Dann erwärme man dieses Quantum Gas, bis zu 100°, vermehre zugleich seinen Druck, so dass das Volumen constant erhalten werde, und suche nun wieder seine Zusammendrückbarkeit, welche man leicht bestimmen kann. Die Rechnung muss so geführt werden, dass man für Formel (10), in der als Normaldruck jener von einem Meter angenommen ist, eine andere substituirt, in der als Normaldruck jener erscheint, der nothwendig ist, das Gas bei 100° auf demselben ursprünglichen Volumen zu erhalten. Man erhält so

$$D_v = 1 - 0,004443 \left( \frac{\varphi'}{v} - 1 \right) + 0,0000163 \left( \frac{\varphi'}{v} - 1 \right)^2 \quad (18)$$

Die daraus hervorgehenden Werthe sind auf Tafel VII aufgetragen und bilden die punktierte Curve (7), welche, wie man sieht, zwischen die zwei Curven fällt, die die Zusammendrückbarkeit der Kohlensäure bei 3°,25 und bei 100° angeben, jedoch dieser letzteren viel näher steht. Wenn nun die Zusammendrückbarkeit eines Gases eine bloße Mole-

1) In seinen zahlreichen und schönen Abhandlungen über die Wärme hat Clausius oft vom reciproken Werte dieses gemeinschaftlichen Ausdehnungscoefficienten Gebrauch gemacht, und denselben zu 273 angenommen. Nach Obigem erhält man den Werte 273,67, wofür man ohne Weiteres die ganze Zahl 274 um so leichter schreiben kann, als der Werte 0,003654 eher zu groß als zu klein ist. Es ist wohl kaum nötig, hinzuzufügen, dass diese kleine Correction keinen wesentlichen Einfluss auf die vielen, von jenem Physiker gezogenen Schlüsse haben kann.

cularfunction wäre, so dass sie blos von Anziehungen und Abstofsungen zwischen den Molekülen nach was immer für einem Gesetz der Entfernung abhinge, so müfste sie stets dieselbe bleiben, so oft die Distanz der Moleküle (oder ihre mittlere Distanz) dieselbe bleibt. Die Kohlensäure behält nun nach obiger Voraussetzung bei  $3^{\circ},25$  und  $100^{\circ}$  daselbe Volumen, die Anzahl und die mittlere Distanz der Moleküle ist somit dieselbe; folglich müfste die Zusammendrückbarkeit dieselbe seyn und die Curve (7) müfste mit (5), welche die Kohlensäure bei  $3^{\circ},25$  repräsentirt, zusammenfallen. Da dies aber nicht der Fall ist, da jene Curve sogar viel näher der Curve (6) steht, müssen wir den Schluss ziehen, dass die Zusammendrückbarkeit des Gases nicht eine bloße Molecularfunction ist.

Dieselbe Rechnung kann man auch für die Luft ausführen; man erhält eine Curve, welche so wenig von (9) abweicht, dass es uns schwer gewesen wäre, sie zu construiren, während sie nach obiger Voraussetzung mit (8) zusammenfallen müfste.

Theoretisch genommen, ist daher ein erkältetes und verdünntes Gas nicht identisch einem warmen und verdichten, auch wenn das Gas dasselbe bleibt, und die Dichte nicht variirt. So oft man also von Gleichgewicht, Elasticität, Zusammendrückbarkeit, Ausdehnung etc. der Gase handeln will, ist es nicht mehr möglich, diese Eigenschaften oder Zustände blos von Abstofsungen oder Anziehungen der Moleküle abzuleiten. Die Wärme tritt hier als etwas Neues auf. Sey es, dass man sie als eine Verdichtung des Aethers betrachten will, wie es oft und namentlich von Mossotti<sup>1)</sup>) vorgeschlagen worden ist; sey es, dass man sie von den Vibrationen der Moleküle ableiten will, wie man es nach dem Beispiele von Clausius zu thun geneigt ist: soviel bleibt gewifs, dass die Wärme nichts mit den Distanzen der Moleküle zu thun hat.

10. Zum Schlufs fügen wir noch eine Tabelle hinzu, welche den Druck  $p$  angiebt, der nothwendig ist, um Kohlensäure bei  $3^{\circ},25$  und  $100^{\circ}$ , Luft bei  $4^{\circ},75$  und  $100^{\circ}$  und Wasserstoff bei  $6^{\circ}$  auf  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{4}$ , usw.  $\frac{1}{20}$  des ursprünglichen Volumens zu reduciren, wenn dieses letztere unter dem Normaldruck von einem Meter steht; ferner eine zweite Tabelle, welche die Ausdehnung eines Volumens = 1 bei

1) *Sur les forces, qui régissent la constitution intérieure des corps,*  
Turin 1836.

constantem Druck  $1 + 100\alpha_p$ , und jene bei constantem Volumen  $1 + 100\beta_p$ , für die verschiedenen Werthe von  $p$  für Luft und Kohlensäure angiebt.

Tabelle I.

## Zusammendrückbarkeit von

Volumen	Kohlensäure bei		Atmosph. Luft bei		Wasserstoff bei 6°
	3°,25	100°	4°,75	100°	
1	1,00000	1,0000	1,00000	1,0000	1,00000
1/2	1,98292	1,9935	1,99783	1,9998	2,00111
2/3	2,94873	2,9515	2,99360	2,9994	3,00338
3/4	3,89736	3,9609	3,98743	3,9988	4,00686
5/6	4,82880	4,9351	4,97944	4,9980	5,01162
7/8	5,74296	5,9029	5,96975	5,9970	6,01768
9/10	6,63985	6,8645	6,95846	6,9960	7,02510
11/12	7,51936	7,8199	7,94570	7,9948	8,03394
13/14	8,38152	8,7691	8,93157	8,9933	9,04424
15/16	9,22620	9,7123	9,91622	9,9920	10,05607
17/18	10,86324	11,5807	11,88223	11,9890	12,08446
19/20	13,18695	14,3393	14,82485	14,9841	15,13965
21/22	16,70540	18,8235	19,71988	19,9758	20,26872

Tabelle II.

## Ausdehnung der

Druck $p$	Kohlensäure		Atmosph. Luft	
	$1 + 100\alpha_p$	$1 + 100\beta_p$	$1 + 100\alpha_p$	$1 + 100\beta_p$
0	1,36600	1,36540	1,36585	1,36540
1	1,37267	1,37016	1,36738	1,36687
2	1,37998	1,37539	1,36887	1,36830
3	1,38793	1,38109	1,37030	1,36967
4	1,39652	1,38725	1,37168	1,37099
5	1,40575	1,39388	1,37300	1,37226
6	1,41562	1,40097	1,37428	1,37347
7	1,42613	1,40853	1,37550	1,37464
8	1,43728	1,41655	1,37667	1,37576
9	1,44907	1,42504	1,37779	1,37682
10	1,46150	1,43400	1,37885	1,37783
12	1,48828	1,45331	1,38082	1,37970
15	1,53325	1,48578	1,38338	1,38212
20	1,62100	1,54920	1,38661	1,38512
0,76	1,37101	1,36897	1,36702	1,36653

Palermo, September 1865.

VII. Ueber die Ausdehnung des Diamanten und  
des krystallisirten Kupferoxyduls unter Einfluss  
der Wärme; von H. Fizeau.

(*Compt. rend.* T. LX, p. 1161.)

Bei Verfolgung der Studien, mit denen ich die Akademie mehrmals (23. Juni 1862 und 23. Mai 1864<sup>1)</sup>) unterhalten habe, über die Fortpflanzung des Lichts durch Körper, wenn man ihre Temperatur verändert, bin ich zu mehren neuen Beobachtungen über die Ausdehnungsweise verschiedener bisher in dieser Beziehung noch nicht untersuchter Substanzen geführt worden.

Aus der Natur der erlangten, ebenso unvorhergesehenen als mannigfältigen und sonderbaren Resultate ließ sich erkennen, daß es für die Wissenschaft interessant seyn würde, ähnliche Bestimmungen möglichst zu vervielfältigen und vor allem anzuwenden auf natürliche Gruppen von sowohl durch ihren chemischen Zusammensatz, als durch ihre Krystallform wohl festgestellten Körpern, um die Abänderungen, deren dieses Phänomen fähig ist, unter den mannigfältigsten Umständen zu verfolgen und wo möglich ein Gesetz darin zu entdecken.

Das Feld dieser Untersuchungen ist, wie man sieht, sehr ausgedehnt, und es war bisher nur möglich einen sehr beschränkten Theil desselben auszuforschen. Indes gibt es schon eine gewisse Anzahl amorpher und krystallisirter Körper, besonders von denen des regelmäßigen Krystallsystems, deren Ausdehnungen definitiv bestimmt werden konnten, vermöge der Leichtigkeiten, welche die von mir angewandte und der Akademie vorgetragene Methode darbietet, eine Methode, die erlaubt, mittelst der Wellenlänge des Lichts sehr kleine Volumveränderungen bei Körpern zu messen, die nur einige Millimeter Dicke haben.

Ich gehe nicht in das Einzelne mehrer wichtiger Ver-

1) Diese Ann. Bd. 119, S. 87 und 297; Bd. 123, S. 515.

besserungen ein, welche der Apparat erlitten hat, da die Erfahrung sie als nützlich erwies. Sie werden in einer künstigen Abhandlung, welche die gesamten Beobachtungen enthält, beschrieben werden.

Ich füge nur hinzu, daß ich vor Allem gesucht habe die Temperatur des zum Versuch genommenen Körpers auf die sicherste Weise zu ermitteln und zu dem Ende den stählernen Dreifuß, der den zu beobachtenden Körper trug, inmitten zweier concentrischer Oefchen von dickem Kupfer aufstellte, wodurch eine sehr gleichförmige Vertheilung der Wärme und eine sehr sichere Kenntniß der Temperatur erlangt wurde. Ueberdiels wurde die Verschiebung der Fransen oder Ringe auf der Oberfläche des Körpers während der Temperaturveränderungen mittelst eines kleinen Fernrohrs verfolgt, und dadurch eine sehr genaue Messung erhalten.

Unter den krystallisierten Körpern, deren Ausdehnung ich bisher bestimmen konnte, zeigen zwei ein merkwürdiges Phänomen, welches bisher noch bei keinem anderen beobachtet worden ist. Das ist eine dermaassen schwache Ausdehnung bei niederen Temperaturen, daß es besonderer Sorgfalt und sehr aufmerksamer Beobachtungen bedarf, um die Wirklichkeit derselben darzuthun und genaue Messungen von ihr zu erhalten. Diese beiden Körper sind der Diamant und das natürlich krystallisierte Kupferoxydul von Chessy, welche beide dem regelmässigen Krystallsystem angehören, durchsichtig sind und sehr hohe Brechungsindices besitzen, übrigens aber durch ihren Zusammensatz und durch die Gesamtheit ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften sehr verschieden von einander sind. Die Ausdehnung (betrachtet für einen Grad an verschiedenen Stellen der Thermometerscale) ist überdiels bei diesen beiden Substanzen nicht nur sehr schwach, sondern auch mit sinkender Temperatur sehr rasch abnehmend, ganz wie beim Wasser in der Nähe seines Dichtigkeitsmaximums; so daß man nach Analogie zu glauben berechtigt ist, daß diese beiden starren Körper das Phänomen

des *Dichtigkeitsmaximums* zeigen könnten, d. h. dass ihr anfangs positiver Ausdehnungscoefficient abnähme, bei einer gewissen Temperatur Null, und darauf negativ würde.

Die bisher gemachten Beobachtungen stimmen gut mit dieser Voraussetzung und lassen das Daseyn eines Dichtigkeitsmaximums beim Diamant und Kupferoxydul als sehr wahrscheinlich betrachten.

Folgendes sind die Resultate der Versuche:

*Diamant.* — Die ersten Beobachtungen wurden ange stellt mit einer grossen Diamantplatte von 1<sup>m</sup>,5 Dicke, welche ich der Gefälligkeit des Hrn. Halphen verdankte, und darauf mit mehreren verschiedenartig geschnittenen Steinen, unter anderen einem sehr schönen Brillant, den mir die HH. Mellerio verschafft hatten. Ich konnte daran erkennen, dass die Ausdehnung dieser Substanz sehr schwach ist und der Coefficient rasch mit der Temperatur abnimmt. Allein um etwas genaue Messungen von diesen immer sehr geringen Werthen zu erhalten, war nöthig, dass der den Versuchen unterworffene Diamant gewisse Bedingungen der Grösse, sowie der Dimension und des Parallelismus in den geschliffenen Facetten in sich vereinigte, Bedingungen, die sich auf die glücklichste Weise bei einem der kostbarsten Exemplare der Gallerien des Museums verwirklichten. Dieser schöne Stein von schwach gelblicher Farbe wiegt 15<sup>m</sup>,94 und hat eine Dicke von 9<sup>m</sup>,625. Da die Administration des Museums so gütig war, mir denselben zur Bestimmung der Dichtigkeit desselben zu überlassen, so habe ich elf Reihen von Messungen, jede aus 11 gesonderten Beobachtungen bestehend, an verschiedenen Stellen des Steins zwischen den Temperaturen 18° bis 77° anstellen können.

Die folgende Tafel enthält das Resultat dieser Bestim mungen, reducirt durch Rechnung auf Hauptpunkte der Thermometerscale.

Punkte der Thermometer-scale, eingenommen von dem mittleren Grade	$\theta$	Werte des linearen Ausdehnungscoefficienten des Diamanten an verschiedenen Punkten $\theta$ der Scale für einen Grad	Unterschied für einen Grad
		$a$	
50°	50	0,000001286	14,477
40	40	0,000001142	
30	30	0,000000997	
20	20	0,000000852	
10	10	0,000000707	
0	0	0,000000562	
- 38,8	- 38,8	0,000000000	

Die Betrachtung der partiellen Beobachtungen zeigt, dass der Ausdehnungscoefficient für einen Grad proportional den Erhöhungen der Temperatur wächst; man kann also die Gesamtheit der Bestimmungen vorstellen durch die Formel:

$$l_t = l_0 (1 + at + bt^2),$$

in welcher

$$a = 0,00000056243$$

$$b = 0,0000000072385$$

$$t = \text{Zahl der Grade von } 0^\circ \text{ aus}$$

$$l_0 = \text{Länge des Körpers bei } 0^\circ$$

$$l_t = \text{Länge des Körpers bei } t^\circ$$

für

$$\frac{dl_t}{dt} = 0$$

hat man

$$t = -\frac{a}{2b} t = -38^\circ 8$$

und das ist der Punkt der Thermometerscale, bei dem die Ausdehnung Null seyn muss, um von einem positiven Werth in einen negativen überzugehen.

Man ist demnach berechtigt, es für sehr wahrscheinlich zu halten, dass der Diamant ein Maximum der Dichte gegen  $-38^\circ 8$  habe.

Im Vorstehenden hat man nur die lineare Ausdehnung des Diamanten betrachtet. Nun dehnen die Krystalle des regelmässigen Systems, wie der Diamant und das Kupfer-

oxydul, sich nach allen Richtungen gleichmässig aus (Mitscherlich); man braucht also die lineare Ausdehnung nur mit 3 zu multiplizieren, um die körperliche zu erhalten.

*Krystallisirtes Kupferoxydul.* — Bekanntlich zeigt diese Substanz bisweilen eine merkwürdige Durchgänglichkeit für das rothe Licht.

Ich ließ aus derselben ein kleines Prisma schneiden, und erkannte, dass sie das Licht noch weit stärker bricht als der Diamant. Ich fand den Brechungsindex des brechbarsten rothen Strahles, der sie durchdrang,

$$n = 2,8984$$

und den des einfachen rothen Strahls, der vom dampfförmigen Lithium in einer Flamme ausgesandt wurde

$$n = 2,8489.$$

Zwei ziemlich reine Krystalle von Chessy (*Dep. Rhône*), ein Octaëder und ein Rhomboëder, welche an einigen Stellen eine merkliche Durchgänglichkeit für rothes Licht zeigten, wurden zu den Versuchen genommen. Ihre Dicke betrug 9<sup>mm</sup>,844 und 10<sup>mm</sup>,570.

Sechs Reihen Messungen, jede von 12 Beobachtungen zwischen 19° und 73°, gaben übereinstimmende Resultate, welche handgreiflich zeigten, dass die Ausdehnung des Kupferoxyduls, besonders in niederen Temperaturen, noch beträchtlich geringer ist als die des Diamanten, und überdies, dass der Werth des Coëfficienten sich auch mit grösserer Schnelligkeit ändert, nämlich rasch mit sinkender Temperatur abnimmt und bei einer weniger niedrigen Temperatur als der des Diamanten, Null zu werden strebt, wobei die Anwachse des Coëfficienten beinahe immer denen der Temperatur proportional bleiben.

Folgende Tafel umfasst die Gesamtheit dieser Beobachtungen, reducirt wie die vorherigen auf Hauptpunkte der Thermometerscale.

Punkt der Thermometer-scale, eingenommen vom mittleren Grad $\vartheta$	Werthe des Ausdehnungskoeffizienten des Kupferoxyduls an verschiedenen Punkten & der Thermometerscale für $1^\circ$ $\alpha$
50°	0,000001059
40	0,000000828
30	0,000000597
20	0,000000367
10	0,000000136
4,1	0,000000000
0	-0,000000095

Man kann bemerken, dass für  $\vartheta = 76,5$  diese Tafel, wie die vorhergehende, denselben Werth für  $\alpha$  giebt, d. h. dass bei diesem Punkt des Thermometers die Ausdehnung des Kupferoxyduls der des Diamanten gleich ist. Diese Resultate werden wohl dargestellt durch die Formel:

$$l_t = l_0 (1 + at + bt^2),$$

in welcher

$$a = -0,00000009452$$

$$b = +0,000000011531$$

für

$$\text{statisch } \frac{dl}{dt} = 0$$

hat man:

$$t = +4^\circ 1.$$

Also oberhalb Null und nahezu an demselben Punkt, wie beim Wasser, muss die Ausdehnung des Kupferoxyduls Null seyn und ein Maximum der Dichte auftreten.

Bisher kannten wir nur das Wasser und einige Salzlösungen, d. h. flüssige Körper, welche das Phänomen eines *Dichtigkeits-Maximums* darboten. Das Daseyn dieses Phänomens auch bei starren Körpern scheint neue Data in die Wärmetheorien einzuführen und einiges Licht auf die Molecular-Constitution der Körper werfen zu müssen.

### VIII. Ueber die Bestimmung des Kohlenstoffs im Stahl; von W. Weyl.

Vor mehreren Jahren veröffentlichte ich ein Verfahren zur Bestimmung des Kohlenstoffs im Eisen, welches im Wesentlichen darin besteht, daß das Eisen, auf elektrolytischem Wege in Lösung gebracht, seine ihm aequivalente Menge Wasserstoff an dem gegenüberstehenden negativen Pol abscheidet, während der Kohlenstoff des als positiver Pol functionirenden Eisenstückes nach der Lösung desselben als Pseudomorphose zurückbleibt und zu Kohlensäure verbrannt genau bestimmt werden kann.

Dafs dieses Verfahren bei Spiegeleisen zu sicheren Resultaten führt, haben die von mir angestellten Versuche außer Zweifel gesetzt, und liefs sich von vornherein schon erwarten, daß der Anwendung desselben auf graues Eisen, Schmiedeisen und Stahl nichts entgegenstehe; dies doch selbstverständlich nur so lange als Kohlenstoff und Wasserstoff im *status nascens* nicht in unmittelbarem Contact zu einander treten. Diese *conditio sine qua non* scheint einem Hrn. Reimann freilich entgangen zu seyn und daher das vergebliche Abmühen desselben, den Kohlenstoff auf diese Weise im Stahl zu bestimmen; denn es scheidet sich bei der Elektrolyse des Stahls der Kohlenstoff in so äußerst fein vertheiltem Zustande aus, daß derselbe nicht etwa als fest zusammenhängende Masse wie bei dem Spiegeleisen zurückbleibt, sondern sich ablöst von dem positiven Pol und, der mechanisch schiebenden Wirkung des Stromes nach dem negativen Pole hin folgend, an diesem theilweise sich absetzt, theilweise mit dem Wasserstoff da selbst zusammentritt und als Kohlenwasserstoff entweicht.

Die hier störend auftretenden Folgen der äußerst merkwürdigen mechanischen Wirkung des Stromes (die vor mehreren Jahren von Quincke näher studirt wurde) läßt in einfachster Weise sich beseitigen durch eine zwischen die

Pole geschobene poröse Scheidewand, wie thierische Blase, der gewifs auch und sehr zweckmässig Pergament-Papier sich substituiren lässt. Zwar beobachtet man auch hier, dass nach mehren Stunden ein schwarzer Körper auf der negativen Elektrode sich absetzt, der jedoch in Salzsäure löslich als Eisen sich erweist, herrührend von dem Eisen-chlorür, welches die Scheidewand selbstverständlich durchdrungen, sich elektrolysiert mit der Salzsäure und, wie diese an dem negativen Pole Wasserstoff, so seinerseits Eisen abgeschieden hat.

Die bei diesem Versuche von mir getroffene Anordnung besteht wie aus der Skizze Fig. 8 Taf. V ersichtlich, aus einem Becherglase zur Hälfte gefüllt mit verdünnter Salzsäure, in die ein Glascylinder sich einsenkt, der unten durch Blase geschlossen und bis auf eine mit der umgebenden Flüssigkeit gleiche Höhe ebenfalls mit verdünnter Säure gefüllt ist. Der Cylinder enthält die positive Elektrode, der Raum zwischen ihm und dem Becherglase die negative. Im Uebrigen ist das inne zu haltende Verfahren vollkommen identisch mit dem bereits bekannten.

Ich schliesse hieran noch die Mittheilung einer gelegentlich von mir gemachten Beobachtung, die es, wie ich dafür halte, gleichfalls ermöglicht, den Kohlenstoff im Eisen sicher zu bestimmen. Es lässt sich das Eisen nänlich ziemlich schnell in Lösung bringen und zwar in Stücken, wie sie bei der Elektrolyse angewandt werden können, ohue das Wasserstoff oder Kohlensäure sich entwickelt, und zwar wird dies erreicht, wenn man dem Wasserstoff, wie er durch die Einwirkung der Säure auf das Eisen frei wird, einen leicht zu reducirenden Körper wie Chromsäure bietet, und somit dem Kohlenstoff gegenüber, ihn unwirksam macht.

Eine in der Kälte gesättigte Lösung von doppelt chromsaurem Kali mit dem gleichen Volumen Wasser verdünnt und soviel Schwefelsäure versetzt als zur Sättigung des Kalis des resultirenden Chromoxydes und Eisenoxydes erforderlich ist, besitzt die Eigenschaft, Eisen, welches in sie

eingesenkt ist, ohne Gasentwicklung zu lösen. Befindet sich dasselbe wie bei der Elektrolyse dicht unter der Oberfläche, so bleibt der Kohlenstoff unabsorbiert zurück, während das Eisen als concentrirte Oxydlösung in Schlieren nach dem Boden des Gefäßes herabsinkt; es geht in Folge dessen die Farbe der Lösung sehr bald in eine undurchsichtig braune über. Die Lösung erfolgt hier ebenso rasch wie durch Elektrolyse, doch bleibt bei diesem Proces eine außerordentlich eisenhaltige Kohle zurück, die offenbar als eine chemische Verbindung beider anzusehen ist; sie ist sehr weich, stark absorbierend mit metallischem Glanze, wie feingepulverter Graphit, löst sich, wenn Stahl angewandt worden, in Salzsäure unter lebhafter Wasserstoff- und Kohlenwasserstoffentwicklung klar auf. Es ist dies Verfahren vorzuschlagen vorzüglich für Stahl und weiches Eisen, während bei Anwendung von Spiegeleisen stets eine wenn auch schwache Wasserstoff- und Kohlenwasserstoff-Entwicklung beobachtet wurde; vielleicht jedoch, daß bei Anwendung concentrirterer Chromsäure-Lösungen auch hier dieser Mifstand sich heben ließe.

Crefeld, den 3. Sept. 1865.

---

## IX. Ueber die Unterscheidung organischer Körper durch ihre optischen Eigenschaften; vom Prof. G. G. Stokes.

(Aus einer Vorlesung in der Royal Institution; Phil. Mag. Sér, IV,  
Vol. XXVII, p. 388.)

---

Der Chemiker, welcher sich mit der Chemie der unorganischen Substanzen beschäftigt, hat gewöhnlich Körper von sehr bestimmten Reactionen und großer Stabilität unter Händen, so daß er energische Reagentien anzuwenden vermag. Daher ist er der Hülfe, welche die optischen Eigen-

schaften der Körper darbieten, überhoben, obwohl sie auch ihm materielle Unterstützung gewähren könnten. Die angedeuteten Eigenschaften sind solche, die zu Untersuchung organischer Körper angewandt werden können; die Untersuchung der hellen Linien in Flammen und glühenden Dämpfen kommt daher nicht in Betracht. Diese Anwendung optischer Beobachtungen, obwohl im Prinzip nicht neu (denn sie wurde vor mehr als 30 Jahren klarlich von Hrn. Fox Talbot ausgesprochen), wurde indes in der Chemie kaum in Betracht gezogen, und blieb den Chemikern fast unbekannt bis zur Veröffentlichung der Arbeiten der Professoren Bunsen und Kirchhoff, in Folge deren sie nun ganz allgemein geworden ist.

Allein während der Chemiker sich bei Behandlung unorganischer Verbindungen ohne sonderlichen Schaden auf die allgemein anerkannten Methoden beschränken kann, würde er bei Beschäftigung mit organischen Substanzen, besonders bei der näheren Analyse, im Nachtheil seyn, wenn er die außerordentliche Hülfe vernachlässigte, welche ihm in vielen Fällen die optische Untersuchung der unter Händen habenden Substanzen gewähren kann. Freilich ist die Methode von begrenzter Anwendbarkeit, da viele Substanzen keine hervortretende optische Kennzeichen besitzen; allein wenn dies der Fall ist, erleichtern die optischen Kennzeichen das chemische Studium in einem Grade, von dem die Chemiker bis jetzt im Allgemeinen nur geringe Vorstellung haben.

Wenn man nachsucht, welche Aufklärung die Optik über die Charaktere einer chemischen Substanz zu geben vermöge, so hat man zweierlei in Betracht zu nehmen. Bei der ungeheuren Zahl von Substanzen, welche die Chemiker bisher zu isoliren oder darzustellen vermochten und in vielen Fällen nur wenig studirt worden sind, fragt es sich häufig, ob zwei, auf verschiedene Weisen erhaltene Substanzen identisch seyen oder nicht. In solchen Fällen wird der optische Vergleich der Substanzen entweder den Beweis für ihre Identität verstärken, in gröfserem oder gerin-

gerem Grade, je nachdem die optischen Charaktere mehr oder weniger hervorstechend sind, oder die Verschiedenheit der beiden Substanzen darthun, die sonst irrigerweise für identisch gehalten werden würden.

Das Zweite ist: uns in den Stand zu setzen, eine besondere Substanz in Mischung mit anderen zu verfolgen, dadurch ihre Haupt-Reactionen, bevor sie isolirt worden, oder selbst, wenn wenig Hoffnung zu ihrer Isolirung da ist, zu bestimmen, und die Existenz eines gemeinschaftlichen näheren Bestandtheils in Mischungen aus verschiedenen Quellen darzuthun. Hierher gehört die Entdeckung von Mischungen, welche für Lösungen einzelner Substanzen gehalten worden sind<sup>1)</sup>.

Sieht man ab von der Arbeit quantitativer Bestimmungen nach wohl bewährten Methoden, so ist das Zweite bei weitem schwerer zu erreichen. Es schliesst die zur Erlangung des Ersten erforderlichen Untersuchungsmethoden ein und mehr, und es ist dieses, was hier hauptsächlich ins Auge gefasst wird.

Die optischen Eigenschaften der Körper umfassen, genau genommen, alle Beziehungen der Körper zum Licht; allein es ist keineswegs eine jede solche Beziehung geeignet für den beabsichtigten Zweck. Brechungsvermögen z. B., obwohl wie specifisches Gewicht usw., ein Kennzeichen irgend einer besonderen reinen Substanz, ist nutzlos zur Verfolgung einer Substanz in einer sie enthaltenen Mischung. Dasselbe gilt vom Zeilstreuungsvermögen. Die für unseren Zweck am nützlichsten Eigenschaften sind erstens Absorption und zweitens Fluorescenz.

Die Farbe ist lange als ein unterscheidendes Kennzeichen der Körper angesehen worden, wie wir denn z. B. sagen, daß die Kupferoxydsalze meistens blau sind. Die Farbe eines Körpers giebt jedoch eine sehr unvollkommene

1) Die Entdeckung von Mischungen durch mikroskopische Untersuchung eingemengter Krystalle gehört zur ersten Aufgabe, während hier die Frage ist, ob die reinen Substanzen, welche die individuellen Krystalle bilden, idemisch seyen oder nicht.

Belehrung über die Eigenschaft, von welcher die Farbe abhängt; denn dieselbe Farbe kann auf unendliche Weise aus den Bestandtheilen des weißen Lichts gebildet werden. Um zu beobachten, wie sich der Körper zu jedem Bestandtheil verhalte, müssen wir ihn in einem reinen Spectrum untersuchen. [Es wurde dann ein reines Spectrum erklärt und ein solches mit Hülfe des elektrischen Lichts auf einem Schirm gebildet. Eine Zelle mit Kupfersalz-Lösung, die vor dem Schirm gehalten und vom Rothen zum Violetten fortbewegt wurde, warf in dem Rothen einen Schatten, wie wenn die Flüssigkeit Dinte gewesen wäre, wogegen man sie im Blauen für Wasser gehalten haben würde. Chromsaures Kali, ähnlich behandelt, gab die umgekehrte Wirkung, war durchsichtig im Roth, und opak im Blau. Der Uebergang von Durchsichtigkeit zur Undurchsichtigkeit war natürlich nicht plötzlich; für die intermedären Farben bewirkten die Flüssigkeiten nur eine partielle Verdunklung. Mathematisch gesprochen ist die Verdunkelung niemals absolut, selbst wenn sie am größten erscheint; allein das durchgelassene Licht ist so schwach, daß es sich unseren Sinnen entzieht. Auf diese Weise kann das Verhalten einer Substanz zu den verschiedenen Lichtarten einer nach der anderen untersucht werden; allein um auf einem Male ihr Verhalten zu allen Arten zu sehen, ist erforderlich, die Substanz so zu halten, daß sie das ganze Lichtbündel, welches das Spectrum bildet, auffängt, sie z. B. unmittelbar vor dem Schlitz anzubringen].

Nach den beiden eben gegebenen Beispielen zu urtheilen, könnte man voraussetzen, daß die Beobachtung der Farbe fast ebenso viel Belehrung gebe, als die Analyse durch das Prisma. [Um zu zeigen, wie sehr dies nicht der Fall ist, wurden zwei an Farbe sehr ähnliche Flüssigkeiten, Portwein und eine Blutlösung, zunächst untersucht. Die erstere bewirkte nur eine allgemeine Absorption der brechbareren Strahlen; die letztere zeigte zwei wohl markirte Streifen im Gelb und Grün]. Diese zuerst von Hoppe wahrgenommenen Streifen sind ungemein charak-

teristisch für das Blut, und liefern ein gutes Beispiel von den Erleichterungen, welche die optische Untersuchung darbietet, um eine Substanz von deutlichen Charakteren dieser Art zu verfolgen. Setzt man zu der Blutlösung irgend ein Kupfersalz (ein gewöhnliches Kupfersalz mit Zusatz eines weinsauren Salzes, um Fällung zu verhüten, und darauf von kohlensaurem Natron), so erhält man eine Flüssigkeit, welche an Farbe dem Blute äußerst unähnlich ist und doch die charakteristischen Streifen des Blutes zeigt, während zugleich ein guter Theil des Rothen absorbirt wird, wie es das Kupfersalz allein thun würde. Setzt man anderseits Essigsäure zu der Blutlösung, so wird die Farbe bloß in ein brauneres Roth verwandelt, ohne dass ein Niederschlag entsteht. Delsungeachtet sind in dem Spectrum dieser Flüssigkeit die Blutstreifen gänzlich verschwunden, während eine andere Reihe von weniger intensiven, aber doch sehr charakteristischen Streifen zum Vorschein kommt. Dies allein lässt es jedoch unentschieden, ob der Farbstoff zersetzt sey oder nicht; denn da das Blut eine alkalische Flüssigkeit ist, so könnte man vermuthen, dass die Veränderung analog der Röthung des Lackmus sey. Um diese Frage zu entscheiden, müssen wir das Spectrum untersuchen, wenn die Flüssigkeit wieder alkalisch gemacht ist, z. B. durch Ammoniak, welches nicht die Absorptionsstreifen des Bluts afficirt. Die directe Hinzufügung des Ammoniaks zu der sauren Mischung veranlaßt einen dichten Niederschlag, welcher den Farbstoff enthält, aber abgesondert werden kann durch bloßen Gebrauch von Essigsäure und Aether, von denen die erstere schon benutzt wurde und der letztere den Farbstoff des Blutes nicht afficirt. Diese Flüssigkeit giebt dasselbe charakteristische Spectrum wie Blut, dem Essigsäure zugesetzt worden ist. Allein nun ist keine Schwierigkeit da, den Farbstoff in einer ammoniakalischen Lösung zu erhalten. In dem Spectrum dieser Lösung erscheinen die scharfen Absorptionsstreifen des Blutes nicht, sondern statt deren ist ein einzelner Streif etwas näher dem Roth und verhältnismässig unbestimmt vorhan-

den. [Er wurde auf einem Schirm gezeigt.] Die Verschiedenheit der Spectra entscheidet die Frage, und zeigt, dass Hämatin (der mit Säuren usw. bereitete Farbstoff) ein Zersetzungssproduct ist, wie Hoppe dargethan hat.

Das Spectrum des Bluts kann zu ferneren Erläuterungen der chemischen Natur dieser Substanz verwandt werden. Der Farbstoff enthält, wie wohl bekannt, eine grosse Menge Eisen, und man könnte daher vermuthen, die Farbe röhre von einem Eisensalze her, besonders da einige Eisenoxydsalze, z. B. das Sulphocyanid, eine blutrothe Farbe haben. Nun gibt es zwischen den Salzen eines selben Metalloxydes eine starke allgemeine Aehnlichkeit in Betreff des Charakters ihrer Absorption. So zeigen die Salze des Uransesquioxides ein merkwürdiges System von Absorptionsstreifen in dem brechbareren Theile des Spectrums. Die Anzahl und Lage der Streifen ändert sich ein wenig von einem Salze zum anderen; allein es herrscht die stärkste Familien-Aehnlichkeit zwischen den verschiedenen Salzen. In gleicher Weise haben die Salze des Eisensesquioxides eine Familien-Aehnlichkeit in der Verwaschenheit ihrer Absorption, welche sich von einem Theile des Spectrums zum andern fortzieht, ohne rasche Uebergänge von verhältnismässiger Durchsichtigkeit zur Undurchsichtigkeit und umgekehrt darzubieten. [Des Contrastes halber wurde das Spectrum des Eisenoxyd-Sulphocyanids gegen das des Blutes gezeigt.] Das Auftreten eines solchen besonderen Systems von Absorptionsstreifen im Blut würde also die Voraussetzung, dass seine Farbe von einem Eisensalze herröhre, widerlegen, selbst wenn wir keine andere Mittel zur Entscheidung hätten. Die Gesamtheit der erlangten That-sachen scheint also zu zeigen, dass der Farbstoff eine complexe Verbindung der fünf Elemente Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff, Stickstoff und Eisen ist, welche unter der Einwirkung von Säuren oder sonst wie in Hämatin und eine albuminöse Substanz zerfällt.

Ich verweilte bei diesem Beispiele, nicht seiner selbst wegen, sondern weil allgemeine Methoden am leichtesten

verstanden werden, wenn man sie auf besondere Fälle anwendet. Um die Unterscheidungen zu zeigen, die mittelst des Prisma bewerkstelligt werden können, wurden die Spectra zweier gebräuchlichen Arten von rothem Glase gezeigt, von denen das eine durch Gold, und das andere durch Kupferoxydul gefärbt ist. Beide Glassorten zeigen einen einzigen Absorptionsstreifen nahe beim Gelb oder Grün; allein der Streif des Goldglases liegt dem blauen Ende des Spectrums merklich näher, als der des Kupferglases.

Zu den vorgezeigten Versuchen wurde eine Batterie von 50 Zellen und ein complexer Apparat angewandt; allein dies war nur nöthig um die Spectra auf einen Schirm zu werfen und einer ganzen Zuhörerschaft zugleich sichtbar zu machen. Um sie zu sehen, ist weiter nichts erforderlich als die zu untersuchende Flüssigkeit (etwa in einem Reagensglase) hinter einem Schlitz zu halten und sie mit dem bloßen Auge durch ein kleines Prisma zu betrachten, dabei successiv Lösungen von verschiedener Concentration anwendend. Auf diese Weise kann jeder die Streifen in gröfserer Vollkommenheit sehen, als wenn sie zum Befühe einer Vorlesung auf einen Schirm geworfen werden.

Um die Besonderheiten einer Substanz durch die Art, wie sie das Licht absorbit, zu untersuchen, ist nicht unumgänglich nothwendig, diese Substanz in Lösung zu haben und durch Transmission des Lichtes zu beobachten. Wenn z. B. ein reines Spectrum auf ein mit Blut bestrichenes Papier geworfen wird, so sieht man in der gelben und grünen Region dieselben Streifen, wie wenn das Licht durch eine Blutlösung gegangen und das Spectrum auf einen Schirm geworfen wäre. Dies zeigt an, daß die Farbe eines solchen Papiers in der That von Absorption herrührt, obwohl das Papier im reflectirten Lichte betrachtet wird. In der That, bei weitem die grösere Zahl der farbigen Gegenstände, die sich uns darbieten, wie grüne Blätter, Blumen, gefärbte Zeuge, obgleich gewöhnlich durch Reflexion geschen, verdanken ihre Farbe der Absorption. Das Licht, durch welches sie gesehen werden,

ist freilich reflectirt, allein es ist nicht die *Reflexion*, durch welche die Auswahl der Strahlenarten bewirkt wird, vermöge deren die Gegenstände farbig erscheinen. Man nehme z. B. rothes Tuch. Ein kleiner Theil des einfallenden Lichtes wird an der Aufenseite der Fasern reflectirt, und wenn wir diesen Theil allein beobachten könnten, würden wir ihn farblos finden. Der grösere Theil des Lichts dringt in die Fasern, wo er seitens des Farbstoffs sogleich eine Absorption zu erleiden beginnt. Bei Ankunft an der zweiten Oberfläche der Fasern wird ein Theil reflectirt und ein anderer Theil geht weiter, um von tiefer liegenden Fasern reflectirt oder absorbirt zu werden. Bei jeder Reflexion werden die verschiedenen Lichtarten so nahe wie möglich in gleichem Verhältniss reflectirt; allein indem sie hin und her durch die Fasern gehen, erleiden sie seitens des Farbstoffs eine sehr ungleiche Absorption, so dass in dem wahrgenommenen Licht-Aggregat die verschiedenen Bestandtheile des weissen Lichts in einem ganz anderen Verhältnisse wie im weissen Lichte selbst vorhanden sind, woraus dann eine lebhafte Färbung hervorgeht.

Es giebt jedoch Fälle, in denen die verschiedenen Bestandtheile des weissen Lichts in ungleichen Graden der Intensität reflectirt werden, und das Licht durch regelmässige Reflexion gefärbt erscheint. Gold und Kupfer können als Beispiele dienen. In gewöhnlicher Sprache sagen wir, ein (englischer) Soldatenrock sey roth, und Gold sey gelb. Allein diese Farben gehören den Stoffen in ganz verschiedenem Sinne an. Im ersten Fall röhrt die Farbe von Absorption her, in letzterem von Reflexion. Physikalisch gesprochen, ist in demselben Sinne, in welchem der Soldatenrock roth ist, das Gold nicht gelb, sondern blau oder grün. Das ist die Farbe des Goldes bei Transmission und deshalb als Resultat der Absorption, wie wir es sehen an einem Goldblatt, welches blaugrünes Licht durchlässt, oder an einer schwachen Lösung von Goldchlorid nach Zusatz von schwefelsaurem Eisenoxydul, wobei das gefallte metallische Gold in sehr fein vertheiltem Zustande schwebend bleibt, und

dadurch der Mischung im durchgelassenen Licht ein blaues Ansehen giebt. In diesem Falle sehen wir, dass während die Substanz Strahlen aller Arten reichlich reflectirt und intensiv absorbirt, sie doch die weniger brechbaren Strahlen reichlicher reflectirt, und in Bezug auf sie intensiver opak ist.

Alle Metalle sind jedoch für Strahlen jeder Art höchst opak. Allein es giebt gewisse nicht-metallische Substanzen, die für einen Theil des Spectrums intensiv opak sind, dagegen gleichzeitig für einen anderen Theil nur mässig opak oder gar ziemlich durchsichtig. Carthamin, Murexid und Platin-Magnesiumcyanid können als Beispiele dienen. Dergleichen Substanzen reflectiren, wie ein Metall, diejenigen Strahlen, für welche sie intensiv opak sind, reichlich, aber schwächer, wie eine glasige Substanz, diejenigen, für welche sie mässig transparent sind. Wenn demnach weisses Licht auf sie einfällt, so ist das regelmässig reflectirte Licht gefärbt, oft lebhaft, unter Vorwalten derjenigen Farben, welche die Substanz begierig zu absorbiren vermag. Das vielleicht merkwürdigste Beispiel vom Zusammenhange zwischen intensiver Absorption und reichlicher Reflexion bieten indefs die Krystalle des übermangansauren Kalis dar. Diese Krystalle haben ein metallisches Ansehen und reflectiren ein grünliches Licht. Sie sind zu dunkel, um eine Untersuchung des durchgelassenen Lichtes zu gestatten; und selbst wenn sie gepulvert werden, ist das schön purpurrothe Pulver, welches sie liefern, zu dunkel für eine gehörige Analyse des durchgelassenen Lichts. Allein die prachtvoll purpurfarbene Lösung desselben kann nach Belieben verdünnt werden, und dann hat die Analyse des durchgelassenen Lichts keine Schwierigkeit. Die Lösung absorbirt hauptsächlich den grünen Theil des Spectrums, und, wenn sie nicht zu concentrirt oder in zu großer Dicke genommen ist, erscheinen fünf Absorptionsstreifen als Anzeichen von Minimis der Durchsichtigkeit. [Sie wurden auf einem Schirm gezeigt.] Wenn man nun das von den Krystallen reflectirte grüne Licht durch ein Prisma zerlegt,

so beobachtet man *helle Streifen*, welche ein Maximum von Reflexionsvermögen anzeigen, und diese entsprechen in Lage den *dunklen Streifen* in dem von der Lösung durchgelassenen Licht. Der fünfte helle Streif kann zwar schwer, wenn überhaupt, wahrgenommen werden; allein der entsprechende dunkle Streif ist auch weniger stark als die übrigen und liegt in einem schwächeren Theil des Spectrums. Läßt man das Licht unter einem passenden Winkel reflectiren und analysirt es zugleich durch einen Nicol, dessen Hauptschnitt in der Einfallsebene liegt, und durch ein Prisma, so wird das ganze Spectrum auf die eben erwähnten Streifen reducirt. Unter diesen Umständen löscht der Nicol das von einer glasigen Substanz reflectirte Licht aus und läßt das von einem Metall reflectirte Licht zum grossen Theile durch. Folglich sehen wir, dass sowie die Brechbarkeit des Lichtes allmählich zunimmt, die Substanz den Charakter ihres Reflexionsvermögens wiederholt vom Glasigen zum Metallischen und umgekehrt verändert, sowie die Lösung (und deshalb, wie zu vermuthen ist, die Substanz selbst) sich vom mässigen zum intensiven Opak und umgekehrt verändert.

Diese Betrachtungen hinterlassen wenig Zweifel über den chemischen Zustand des Kupfers in einem gewissen Glase, welches vorgezeigt wurde. Dieses Glas ist nur auf der einen Seite in einer sehr dünnen Schicht gefärbt. Bei Durchlassung fängt es einen grossen Theil des Lichtes auf und ist bläulich. Bei Reflexion, besonders wenn die farblose Seite dem Auge zugewandt ist, zeigt es in allen Richtungen sichtbares röthliches Licht, welches das Ansehen hat, als käme es von einem Niederschlage her, wie wohl mit dem Mikroskop, wenigstens mit einem von der versuchten Kraft, nichts davon entdeckt werden könnte. Es war offenbar aus einem misslungenen Versuch zur Bereitung des gewöhnlichen rothen Kupferoxydulglasses hervorgegangen, und es fragte sich nur, in welchem Zustand das Kupfer zugegen sey. Als Oxyd konnte es nicht darin seyn, denn die Menge war zu klein, um die Bläue zu erklären, und in der

That wurde das Glas fast farblos in der äusseren Flamme des Löthrohrs. Eine Zerlegung des durchgelassenen Lichts mittelst des Prisma zeigt einen kleinen Absorptionsstreifen an der Stelle des in rothen Kupfergläsern, welche nicht zu dunkel sind, sichtbaren Streifens, und deshalb ist eine kleine Portion Kupfer im Zustande des Oxyduls, d. h. eines Silicats dieser Base zugegen. Der Rest befindet sich ohne Zweifel im Zustande von metallischem Kupfer, herührend von einer übertriebenen Reduction bei der Zubereitung; und demgemäß zeigte die blaue Farbe, welche bei gänzlicher Entfernung des Oxyduls reiner gewesen wäre, die wahre Farbe des Kupfers in durchgelassenem Lichte an, ganz übereinstimmend mit dem, was wir beim Golde sehen. In beiden Metallen sind also das Absorptions- und das Reflexionsvermögen im Ganzen grösser für die weniger brechbaren Strahlen als für die stärker brechbaren, wobei jedoch das Gesetz der Veränderung mit der Brechbarkeit in beiden Fällen natürlich etwas verschieden ist.

Die Zeit erlaubte dem Vortragenden nur eine ganz kurze Erwähnung der zweiten Eigenschaft, welche er als nützlich zur Entdeckung von Substanzen in unreinen Lösungen bezeichnet hatte, der Fluorescenz nämlich. Das Phänomen der Fluorescenz besteht bekanntlich darin, dass gewisse Substanzen, wenn sie in Strahlen von gewisser Brechbarkeit versetzt werden, während der Bestrahlung zusammengesetztes Licht von geringerer Brechbarkeit aussenden. Wenn eine reine fluorescirende Substanz in einem reinen Spectrum untersucht wird, und man geht dabei von dem äussersten Roth zum Violett und darüber hinaus, so findet sich, dass die Fluorescenz bei einem gewissen, nach der Substanz verschiedenen Punkt des Spectrums anfängt und dann vorwärts anhält, mehr oder weniger stark in einem oder dem anderen Theile, je nach der besonderen Substanz. Die Farbe des fluorescirenden Lichts zeigt sich dabei als fast constant durch das ganze Spectrum. Wenn wir also eine uns übergebene Lösung in einem reinen Spectrum untersuchen, und dabei sehen, dass die Fluorescenz

gleichsam einen frischen Anlauf mit einer anderen Farbe nimmt, so können wir ziemlich sicher seyn, dass wir es mit einer Mischung von zwei fluorescirenden Substanzen zu thun haben.

Man könnte *a priori* schliessen, dass die Fluorescenz an irgend einem besonderen Theil des Spectrums nothwendig mit einer Absorption verknüpft seyn müfste, weil sonst eine Schöpfung von *lebendiger Kraft* vorhanden seyn würde, und die Erfahrung zeigt, dass eine rasche Absorption (eine solche, die einem wohl markirten, durch einen Absorptionsstreifen im durchgelassenen Licht angezeigten Durchsichtigkeitsminimum entspricht) begleitet ist von einer reichlichen Fluorescenz. Allein die Erfahrung hat auch bisher gezeigt, was nicht vorher gesehen werden konnte und allgemein auch nicht richtig seyn mag<sup>1)</sup>), dass umgekehrt, bei fluorescirenden Substanzen die Absorption begleitet ist von Fluorescenz (*that conversely, absorption is accompanied, in the case of a fluorescent substance, by fluorescence*).

Aus dem Vorhergehenden folgt, dass die Farbe des fluorescirenden Lichts einer Lösung, selbst wenn das einfallende Licht weis, oder blofs durch Absorption gesiebt (*sifted*) ist, von Nutzen seyn kann. Um dieses zu erläu-

- 1) Fluorescirende Substanzen absorbiren, wie andere, ohne Zweifel die jenseits des äussersten Roth liegenden unsichtbaren Wärimestrahlen in verschiedener Weise, je nach der Natur der Substanz. Wenn wir also solche Strahlen mit in das einfallende Spectrum einschliessen, haben wir ein Beispiel von Absorption ohne begleitende Fluorescenz. Allein die unsichtbaren Wärimestrahlen weichen von den des sichtbaren Spectrums (wie aller Grund zu glauben ist) nur in der Weise ab, wie die sichtbaren Strahlen eines Spectrumtheiles von denen eines anderen, d. h. durch Wellenlänge und folglich durch Brechbarkeit, die von der Wellenlänge abhängt. Es ist also nicht unwahrscheinlich, dass man Substanzen entdecken werde, welche die sichtbaren Strahlen absorbiren in gewissen Theilen des Spectrums, die weniger brechbar sind als die, bei welchen die Fluorescenz anfängt; und *Mischungen* mit dieser Eigenschaft lassen sich nach Belieben darstellen. Indes hat der Vortragende bisher noch keine reine fluorescirende Substanz angetroffen, die dieses Phänomen zeigt.

tern wurde elektrisches Licht, nachdem es durch ein tief blaues Glas gegangen, geworfen auf schwach ammoniakalische Lösungen zweier krystallisirter Substanzen, Aesculin und Fraxin, beide erhalten aus der Rinde der Rofskastanie, wiewohl die letztere auch in der Eschenrinde vorkommt, worin sie auch zuerst entdeckt wurde. Beide Lösungen zeigen eine lebhafte Fluorescenz; allein die Farbe ist verschieden, blau beim Aesculin, bläulichgrün beim Fraxin. Ein gereinigter Auszug aus der Rinde zeigt eine Fluorescenz von dazwischenliegender Farbe, zum Beweise, daß das Aesculin nicht allein die Fluorescenz des Auszugs der Rinde erklären kann.

Wenn eine Substanz wohl ausgeprägte optische Eigenschaften besitzt, so ist es fast ebenso leicht, sie in einer Mischung wie in einer reinen Lösung zu verfolgen. Wenn aber die Aufgabe ist: Gegeben eine Lösung von unbekannten Substanzen, welche wohl ausgeprägte Kennzeichen in Bezug auf verschiedene Theile des Spectrums darbieten, zu bestimmen, welcher Theil dieser Kennzeichen zu der einen und zu der andern Substanz gehöre, so stellen sich viel grösere Schwierigkeiten ein, worauf schon zu Anfang dieser Vorlesung hingewiesen wurde. Im Allgemeinen kann das Problem gelöst werden durch eine Combination von chemischen Zerlegungsprozessen, besonders der bruchweisen Abtrennung, mit optischen Beobachtungen. Wenn eine Lösung solcher Gestalt hinreichend geprüft worden ist, so können diejenigen Kennzeichen, von denen man findet, daß sie einander immer in, soweit sich beurtheilen lässt, constantem Verhältniß begleiten, mit höchster Wahrscheinlichkeit als zu einer und derselben Substanz gehörig betrachtet werden. Allein während im Allgemeinen eine Combination von Chemie und Optik erforderlich ist, können zuweilen wichtige Aufschlüsse durch die Optik allein erlangt werden. Dies ist besonders der Fall, wenn wenigstens eine der Substanzen zugleich fluorescirend und in besonderer Weise absorbirend ist.

Als Erläuterung dieses Falls kann das Chlorophyll die-

nen. Ein ausgezeichneter französischer Chemiker, Hr. Frémy, nahm sich vor, zu untersuchen, ob die grüne Farbe desselben von einer einzigen Substanz herrühre oder von einem Gemisch einer gelben mit einer blauen. Durch Anwendung bloß neutraler Körper gelang es, das Chlorophyll zu zerlegen in eine gelbe Substanz und in eine grüne, die etwas ins Blaue neigte; allein er konnte in Richtung des Blauen nicht weiter kommen. Er folgerte indes, daß er seinen Zweck erreicht habe, als er das Chlorophyll in einem Gemenge von Aether und Chlorwasserstoffsäure löste, und dabei die Säure bei Abtrennung eine schön blaue, und der Aether eine gelbe Farbe zeigte. Nun zeigen Lösungen des Chlorophylls in neutralen Lösemitteln, wie Alkohol, Aether usw. eine lebhafte Fluorescenz von blutrother Farbe, und wenn die Lösung in einem reinen Spectrum untersucht wird, erweist sich die Fluorescenz sehr reichlich in Portionen des Roth, verhältnismäßig schwach in den meisten Theilen das Grün und wiederum sehr lebhaft in dem Blau und Violett. Nun würde eine Substanz von rein gelber Farbe, welche ihre Absorption, wie solche Substanzen thun, auf die brechbareren Strahlen ausübt, keine rein rothe Fluorescenz zeigen. Entweder würde sie nicht fluorescirend seyn oder die Fluorescenz ihrer Lösung würde (wie es die Erfahrung zeigt) Strahlen von einer Brechbarkeit enthalten, die ganz oder nahe bis zu dem Theile des Spectrums reicht, wo die Fluorescenz und deshalb die Absorption anfängt; daher würde das fluorescirende Licht nicht rein roth seyn können, wie das des Chlorophylls es selbst im Blauen und Violetten ist. Die von Hrn. Frémy durch neutrale Agentien abgeschiedene, gelbe Substanz ist in der That nicht fluorescirend, folglich kann die kräftige rothe Fluorescenz in dem Blau und Violett nur der Substanz zugeschrieben werden, welche die bekannte kräftige Absorption im Roth ausübt, welche Substanz demnach das Blau und Violett kräftig absorbiren muß. Wir können also *a priori* behaupten, daß wenn diese Substanz isolirt würde, sie nicht blau, sondern nur etwas blauer grün wäre. Die von

Hrn. Frémy erhaltene blaue Lösung verdankt ihre Farbe in der That einem Zersetzungssproduct, welches in neutralen Lösungsmitteln gelöst, gar nicht blau ist, sondern eine fast neutrale Farbe besitzt, die jedoch in ihrem Spectrum ungemein scharfe Absorptionsstreifen zeigt.

---

**X. Die Gas-Accord-Harmonika;  
von C. A. Grüel, Mechaniker in Berlin.**

---

Nach Anstellung der vom Grafen v. Schaffgotsch in diesen Annalen vor einigen Jahren beschriebenen, ebenso auffallenden als instructiven Versuche über die chemische Harmonika, schien es mir nicht unangemessen, die von dem leider so früh dahingeschiedenen Autor benutzten Hülfsmittel in einem zur Darstellung der Erscheinungen besonders geeigneten Apparat anzugeben, so dass letzterer für demonstrative Zwecke bequemer und noch überzeugender werden möchte, als es die einzelnen, je nach dem besonderen Zwecke gewählten Utensilien für sich seyn können.

Um dies zu erreichen, ordnete ich in einem Gestell neben einander vier Röhren an, welche ihre Gaszuströmung durch central darunter gestellte Hähne, von einem gemeinschaftlichen Canal gespeist, erhalten. Die Röhren versah ich mit verschiebbaren Aufsätzen zur Correction der Röhrenlängen und mit Klemmringen, um ihre Stellung bei verticaler Verschiebung, bezüglich der innerhalb brennenden Flammen, die durch die Hähne vergrößert oder verkleinert werden können, beliebig abzuändern. Außerdem schien es nötig, für eine leichte Auswechselung der an den Hähnen befindlichen gläsernen eigentlichen Ausströmungsrohrchen zu sorgen.

Es lässt sich nun mit diesem Apparat, welcher die volle Zustimmung des Grafen Schaffgotsch fand, und mit ei-

nigen anderen dabei dienlichen Hülfsmitteln eine Reihe interessanter akustischer Versuche anstellen, deren Beschreibung ich um deswillen nicht zurückhalten will, weil die sichere Ausführung derselben von gewissen hier zu besprechenden Bedingungen abhängt, und weil neuerdings eine Erweiterung jener Versuche möglich geworden, welche den Besitzern des Apparats zu Gute kommen und der Empfehlung des letzteren zur Stütze dienen soll.

Die Wahl der Töne des *c*-dur-Accords in der Stimmlage vom ein- bis zweigestrichenen *c* rechtfertigt sich dadurch, dass bei dieser Abgränzung die Röhren weder unbequem lang und zur Erzeugung von Theilschwingungen zu sehr geneigt, anderseits nicht zu kurz werden, wo dann für das Tönen und andere Erscheinungen die Bedingungen nicht mit derselben Sicherheit zu erfüllen sind. Von Wichtigkeit ist die Form und lichte Weite der Ausströmungs-röhrchen, ebenso das Maas bis zu welchem das äußere Rohr über dieselben geschoben ist. Innerhalb gewisser Gränzen dürfen wohl Abweichungen stattfinden. Wenn aber die Flamme zu stark brennt, so fehlt die Bedingung unter welcher sie freiwillig zu tönen beginnt; es entsteht in Folge starker Erhitzung der Luftsäule eine allgemeine Ventilation, ähnlich derjenigen in einem Schornstein. Sind Flamme und Röhre günstig gestellt, so bewegt sich ein dünner Luftstrom in der Axe der Röhre aufwärts, welcher die ihn umgebende Luft, wenn auch nicht vollkommen, doch relativ in Ruhe lässt, wovon man sich durch eingestreute leichte Körperchen überzeugen kann.

Die Reibung jenes dünnen Luftstromes an der ihn begrenzenden Luftsäule dürfte viel mehr als die Ursache des Tönens der letzteren zu betrachten seyn, als die explosive in höchst kurzen regelmässigen Intervallen erfolgende Verbrennung des Gases, welche früher als Grund des Tönens vermutet und aufgestellt worden ist, ohne den Nachweis dass jener Vorgang bei dem frei und ohne Hindernis austromenden und sofort verbrennendem Gase statthaben könne. Brennt die Flamme sehr klein, nahe bis zum frei-

willigen Verlöschen, so geräth die Luft leicht in Theil-schwingungen und giebt dann gewöhnlich die Octave oder deren Quinte.

Nimmt man eine der Röhren aus dem Gestell heraus, und stöfst ihre Mündung kurz vorübergehend gegen den flachen Handteller, so, dass die Mündung sogleich wieder frei wird, so hört man kurz hinter einander deutlich zwei Töne, den Grundton und seine höhere Octave. Ersterer entspricht dem Ton einer gedeckten, letzterer dem einer offenen Pfeife von der Länge des angewandten Rohrs, und es darf nicht befremden, dass beide Töne eine höchst kurze Dauer haben, weil die momentan erzeugte Schallwelle nicht fortwirken kann.

Ist die Gasströmung eine gleichmäfsige, ist sie nicht durch stürmische Witterung, welche auf die Zimmerluft merklich influirt oder selbst nicht durch Zugluft im Zimmer gestört, so kanu man die Röhren in mannigfacher Weise sehr rein abstimmen; man kann z. B. leicht die folgenden Accorde:  bilden und wird bei dem 1<sup>ten</sup>, 3<sup>ten</sup> und 5<sup>ten</sup>, als den consonirendsten harmonischen Klängen, einen höchst angenehmen Eindruck empfangen. Die absolut reine Stimmung, bei welcher ein glattes, ohne alle Stöße erfolgendes Abklingen gewonnen wird, erfordert ein musikalisch gebildetes Gehör und einige Uebung; man erreicht den Zweck leichter, wenn man successive, erst die Octave mit dem Grundton, dann die Quinte mit dem Grundton, zuletzt die Terz stimmt. Da die unreine Consonanz der Octave und der Quinte mit dem Grundton Stöße erzeugt, so darf man ja nur bis zum Verschwinden der letzteren stimmen. Die Erzeugung der Stöße und der Nachweis, dass dieselben ein objectives Phänomen sind, lässt sich in keiner Weise so vollkommen ausführen, als mit Hülfe dieser Harmonika. Zu dem Ende habe ich die erste und zweite Röhre so eingerichtet, dass sie bequem *unisono* gestimmt werden können. Hierzu nimmt man von No. 1 die Correctionsröhre ganz ab, verlängert die Röhre No. 2

bis nahe zur Entstehung des Einklanges. Dann hört man die Stöfse und sieht sie auch zugleich an dem isochronen, schnelleren oder langsameren Hüpfen der Flammen, je nach der größeren oder kleineren Differenz der Töne. Denselben Erfolg erhält man mit einer Harmonikaröhre im Zusammenklang mit Vocaltönen, Instrumentaltönen, Stimmgabeln; bei letzteren besonders auffallend unter Mitanwendung abgestimmter Schallflaschen und in der Nähe der tönenden Röhre. Merkwürdig hören sich die Doppelstöfse an, welche durch den Zusammenklang der ersten Röhre mit zwei stossenden Gabeln über einer Schallflasche entstehen. Es können dabei nämlich leicht drei verschiedene Schallwellen-Systeme zusammentreffen, deren Interferenz eben die complicirte Erscheinung hervorruft, wenn alle drei Töne ungleich sind. Das Ansingen und Auslöschen der Flamme durch Resonanz sind zwei schon früher besprochene *Curiositäten*, über welche ich nur zu bemerken brauche, auf welche Art man sie sicher vorexperimentiren kann. Beide Erscheinungen erfordern Ausströmungen, die nicht so eng seyn dürfen, daß man den Hahn gänzlich öffnen muß, um ein freiwilliges Tönen der Flamme zu erlangen. Im Gegentheil muß man im Staude seyn, durch vermehrte Öffnung des Hahns die Flamme etwas größer zu stellen. Hat man letzteres bei allen vier Flammen bewirkt, so kann man von irgend Jemand eine Wahl treffen lassen, welche von den vier Röhren zu tönen anfangen soll. Hierzu bedarf es keines anderen Mittels, als daß man der bezeichneten Röhre den Ton vorsingt, den sie selbst zu erzeugen im Stande ist. Wäre man in Zweifel, was dies für ein Ton sey, so braucht man nur ein wenig gegen die untere Mündung der Röhre zu blasen; man hört dann freilich nur einen unvollkommenen Ton, der aber über seine Höhe nicht im Zweifel läßt. Es ist entschieden richtig, daß wenn man diesen Ton mit hohlem Munde, womöglich auf den Vocal u der Röhre vorsingt, man die größte Wirkung auf die Röhre ausübt. Die schönen Untersuchungen des Prof. Helmholtz geben hierüber genügenden Aufschluß, indem der

Vocal u einen einfacheren von harmonischen Obertönen freieren Ton darstellt. Von gedeckten Flöten, Stimmgabeln und Schallflaschen, wie ich letztere mit oben verengter Mündung zu liefern pflege, lässt sich dasselbe sagen, daher die Wirkung der Stimme oder einer Stimmgabel mittelst solcher Schallflasche soviel Kraft gewinnt, um das Experiment glücklich anstellen zu können. Da das Singen nicht Jedermann's Sache ist, so kann auch jedes voll- und stark-tönende Blasinstrument jenen Dienst leisten; sogar kann man sich mit abgestimmten Medicingläsern helfen, welche man über den Rand hinweg nach Art der Papagenoflöte anbläst. Das Abstimmen derselben geschieht mittelst Wasserfüllung in angemessener Quantität. Auf welche Weise man nun den der Röhre entsprechenden Ton erzeugt haben möge, stets wird derselbe die Luftsäule in Mitschwingung versetzen und das ausströmende Gas an diesen Schwingungen Theil nehmen lassen, wodurch die Flamme, aus ihrem labilen Gleichgewicht herausgerissen, die Schwingungen fortsetzt.

Ist die Ausströmung durch ein etwas weiteres, aber an seinem Ende cylindrisch geformtes Glasrörchen bewirkt, so ändert sich der Vorgang, denn die Flamme tönt nur einen Augenblick in Folge der Resonanz, und erlischt unmittelbar darauf, zumal wenn sie an einem Ort innerhalb der Röhre brennt, wo die Luft ihre kräftigsten Elongationen zeigt. Dieser Ort entspricht etwa einem Fünftel der Röhrenlänge, und ist durch die Verschiebung der Röhre leicht zu finden.

Wie schon bemerkt, entstehen Theilschwingungen nur bei außerordentlich kleinen Flammen, oder wenn die äusseren Röhren eine bedeutende Länge haben; die Flamme erlischt dabei gern, wenn man nicht sorgt, sie an eine Stelle zu verlegen, wo die Luftschwingungen weniger lebhaft geschehen, d. h. mehr gegen die Mündung der Röhre hin.

Die Wahrnehmung der einzelnen Schwingungen einer tönenden Flamme ist nicht möglich wegen der schnellen Folge derselben, man erkennt sie nur an einer verlänger-

ten Gestalt der Flamme, indem die Gesichts-Eindrücke sich vermischen. Betrachtet man dagegen die tönenden Flammen in einem seitlich daneben gehaltenen Spiegel und bewegt man diesen rechtwinklig gegen seine Ebene hin und her, so zerlegt man das Flammenbild in seine einzelnen Momente, wo dasselbe bald abwärts bald aufwärts schwingt. Diese Erscheinung ist sehr anziehend und contrastirend gegen die glatten seitlich verlängerten Flammenbilder, welche die nicht tönenden Flammen zeigen. Besonders hübsch erscheinen die tönenden Flammen in bewegten *Convex*-Spiegeln. Für diese Beobachtung ist auch ein gewöhnliches Opernglas (*Jumelle*) sehr brauchbar; man stellt es auf die Weite des deutlichen Sehens ein, und bewegt es vor den Augen so, dass nur die Objective eine rasche Hin- und Herbewegung von rechts nach links vollführen.

Dass man einen gesungenen Ton mit Hülfe einer abgestimmten Schallflasche in seiner Wirkung auf eine ruhende Flamme ungemein verstärken und letztere aus einer guten Entfernung zum Tönen bringen kann, habe ich oben bemerkt; auffallender als dieses und wenig bekannt dürfte es seyn, dass dieselbe Schallflasche sofort den Ton, die Schwingungsbewegung, vernichtet, wenn man ihre Oeffnung der oberen oder unteren Röhrenmündung nahe bringt. Kein anderer Gegenstand, wenn er nicht geradezu die Röhren-Mündung partiell schliesst, würde diese Wirkung thun, auch thut es die Schallröhre nicht mehr, wenn man ihre Mündung verändert oder sie absichtlich gegen den Ton der Röhre verstimmt. Eine andere nicht minder bemerkenswerthe Erscheinung ist mit diesen Harmonika-Tönen am allerbesten wahrnehmbar zu machen; es darf aber nur immer *eine* Röhre tönen. In jedem abgegrenzten Raum, wo man das Instrument aufgestellt, giebt es wenigstens *eine* Stelle, wo der überall sonst wahrnehmbare Ton vollkommen verschwindet. Diese Stelle hat eine so bestimmte Lage und so nahe liegende Gränzen, dass sie gewöhnlich sich der Wahrnehmung entzieht, besonders deshalb, weil

der Gehörsinn durch zwei getrennte Organe vertreten, und das eine Ohr nothwendig an einer anderen Stelle als das zweite ist. Verstopft man aber das linke Ohr und befindet sich das rechte an jener erwähnten Stelle, so hört man in der That nichts als ein eigenes die tönende Flamme stets begleitendes Geräusch, welches einige Aehnlichkeit mit dem schwachen Sausen der durchströmenden Luft an der Heizbüür eines Zugofens, nachdem das Feuer schon fast erloschen ist, hat.

Daß diese Erscheinung einen objectiven Grund und ihre Entstehung dadurch haben müsse, daß die Schallwellen in entgegengesetzten Schwingungszuständen den Gehörgang treffen, scheint mir unzweifelhaft.

Auf die Thatsache, daß die Schwingungsbewegung der Luft sich selbst in sehr langen Canälen und deren Abzweigungen in großer Stärke fortpflanzt, die von denselben gespeisten Ausströmungen und Flammen erzittern macht und periodisch verlängert, hatte der Graf v. Schaffgotsch ein Experiment begründet, bei welchem eine ins Tönen versetzte Flamme an einer entfernten Stelle die Entzündung eines in Bereitschaft gehaltenen Gasstroms bewirkt. Die Wirkung tritt nur bei Angabe eines bestimmten Tons ein. Es glückt nicht leicht, diese Vorrichtung mit der eben beschriebenen Accord-Harmonika zu verbinden; es ist besser sie isolirt darzustellen, mit dem Vortheil großer Empfindlichkeit. Die Leistung dieses akustischen Entzündungsapparats ist der Art, daß wenn man eine Scale singt, innerhalb welcher der erregende Ton vorkommt, die Zündung im Moment der Erscheinung dieses Tons eintritt, aber durchaus unterbleibt, wenn man ihn absichtlich nicht mit-singt. In Betreff des Anblicks, den die vier Flammen in einem verkleinernden bewegten Spiegel gewähren, bemerke ich noch Folgendes. Würde man die Bewegung des letzteren vollkommen constant und gleichmäfsig machen, und im Stande seyn, die Anzahl der Flämmchen eines jeden, meist lang gestreckten oder elliptisch leuchtenden Striches zu zählen, so würde man bei reiner Stimmung der

Accordtöne jene Anzahl in dem Verhältniss der Zahlen 4, 5, 6, 8 vorfinden müssen. Die Wahrnehmung der den Grundton begleitenden harmonischen Obertöne meiner Röhren gelingt, mit Hülfe von Resonatoren, um so leichter, als sich die Röhren durch ihre Correctionsansätze verändern lassen.

---

## XI. *Verfahren zur Herstellung astatischer Nadelpaare; von C. A. Grüel in Berlin.*

---

Das häufige Bedürfniss und die Wichtigkeit galvanometrischer Messungen in der physikalischen Praxis machen es wünschenswerth, das dabei in Anwendung kommende Galvanometer constant und überhaupt in brauchbarem Zustande zu erhalten, und bei einer durch Zufall eingetretenen Störung das Mittel zur Abhülfe nicht auf beschwerlichem Wege aufsuchen zu müssen. Wie leicht eine solche Störung bei unerwartet auftretenden zu starken Strömen oder bei Einwirkung von Stahlmagneten usw. eintreten kann, ist bekannt.

Im Bande CXXIII S. 384 d. Ann. fand ich eine von Hrn. Levoir beschriebene Methode zur leichten und sichereren Anfertigung astatischer Nadelpaare, und dies gibt mir Veranlassung, gestützt auf eine lange fortgesetzte Uebung in diesen Arbeiten, die von mir zur Erreichung desselben Zweckes mit bestem Erfolge angewandte Methode nachstehend zu beschreiben, um so mehr, als ich überzeugt bin, dadurch wohl manchem Physiker einen Dienst zu leisten, ferner aber die Vergleichung zu ermöglichen und zu entscheiden, ob das gewünschte Ziel nach der von mir kundgegebenen Weise nicht leichter und sicherer erreicht werde, als auf anderem Wege.

Für diejenigen Instrumente, welche zur Messung sehr schwacher Ströme dienen sollen, ist der astatische Zustand

der Doppelnadel von besonderem Werth, und es kommt darauf an, denselben bei der Anfertigung der Nadeln nicht blos zu erzeugen, sondern ihn auch möglichst sicher zu stellen, was einerseits vom Material, andererseits von der Art und Weise der Magnetisirung abhängt.

Ich wähle die Nadeln aus bestem englischem Stahl von gleichwässiger Härte und magnetisire sie nicht einzeln sondern gemeinschaftlich, nachdem sie bereits in ihre Fassung und richtige Lage gebracht sind, an den Polen eines Elektromagnets von solchen Dimensionen, daß die Entfernung der Mitte der Schenkel mit jener der beiden Nadeln übereinstimmt. Es genügt ein ein- bis zweimaliges Abziehen der Doppelnadel von ihrer Mitte aus nach dem Ende hin; dann wird die Nadel umgewendet, um auch ihre anderen Hälften mit den freundschaftlichen Polen und dem einfachen Strich, dem ich hierbei den Vorzug gebe, wie vorhin zu magnetisiren. Ich glaube Werth darauf legen zu dürfen, daß beide Nadeln gleichzeitig und zwar an einem kräftigen Magnet, dessen Pole voraussichtlich eine gröfsere Gleichheit ihrer Magnetkraft als irgend ein Stahlmagnet darbieten, gestrichen werden, und daß sie durch die Einwirkung ihrer freundschaftlichen Pole auf einander sich weder im Ganzen noch in ihren Hälften abschwächen. Hat man sie in solcher Weise und gewissermaßen symmetrisch abgezogen, so daß der N- und S-Pol zu gleicher Zeit den Elektromagnet verlassen haben, so zeigt oft schon der erste Versuch der am Coconfaden emporgehobenen Doppelnadel eine solche Astasie, daß dieselbe weiter keiner Nachhülfe bedarf, häufig sogar nur mehr unter dem Einfluß der Torsion des Fadens steht. Man darf wohl zufrieden seyn, wenn eine Nadel 15 bis 20 Secunden zu einer ganzen Schwingung braucht; ein höherer Grad von Astasie ist lästig und störend. Ist dagegen eine Nachhülfe nöthig, so bedarf es nur der Aufsuchung der überwiegenden Nadel, um diese auf geeignete Weise zu schwächen, was am besten mittelst eines guten kleinen Magnetstabes

geschieht, den man mit seinem feindlichen Pol dem zu schwächenden Pol der Doppelnadel, die man dabei an ihrer anderen Hälfte festhält, nähert. Man muss mit dieser Annäherung vorsichtig seyn, besonders wenn die Astasie schon ziemlich befriedigend ist, da der schwächende Einflus des genäherten Pols leicht das gewünschte Maas überschreiten könnte. Deshalb wiederholt man diese Annäherung mit steter Abnahme der Entfernung so lange, bis nach jedesmaligem Probiren die gewünschte Astasie erreicht ist, was nur die Zeit weniger Minuten in Anspruch nimmt. Ein gewöhnliches Thermo-Element aus Wismuth und Antimon lenkt, mit dem Finger an der Löthstelle berührt, die Nadel eines aus etwa 90 Windungen 1<sup>mm</sup> starken Drahts gebildeten Multiplicators bis über 90° hinaus, um sie später auf 70° — 80° zu fixiren. Ich halte es kaum für möglich, die Astasie zu erlangen, wenn man die Nadel aus ihrer Fassung herausziehen wollte, um sie mit einem schwachen Magnetstäbe zu streichen und zu entmagnetisiren oder aber sie auf Sandstein abzuschleifen, wie dies Hr. Levoir empfiehlt. Abgesehen davon, dass die leichten zierlichen Drahtgestelle, welche man aus feinem geglätteten Draht als Fassung für die Nadeln so gut und brauchbar herstellen kann, durch das Herausziehen der einen Nadel in ihrer Symmetrie und Festigkeit leiden, müfste es nur dem seltensten Zufall zuzuschreiben seyn, wenn dadurch Astasie in einiger Vollkommenheit erzeugt würde, da man das richtige Maas der Abschwächung nicht leicht treffen wird. Sehr nützlich ist ein solches magnetisches Correctionsstäbchen, wie oben erwähnt, auch zum Zurückführen der Nadel auf den Nullpunkt. Es erfordert wirklich nur eine sehr leicht zu gewinnende Uebung mit jenem Stäbchen von Außen her, ohne die Glocke abzunehmen, so zu operiren dass in Zeit von kaum einer Minute die Nadel ruhig auf Null einsteht. Diese Uebung besteht in dem richtigen Treffen der Entfernung des Stäbchens und der kürzeren oder längeren Zeit seiner Einwirkung von rechts oder links

her. Man bringt zwar bei allen Galvanometern eine Vorrichtung zum Heben und Senken der Nadel an, durch welche letztere von dem langweilenden Hin- und Herschwingen nahe auf Null wieder eingestellt werden kann, doch führt das erwähnte Stäbchen viel früher zum Ziele.

---

**XII. Ueber die mit dem Namen *Phosphorenz* belegten Licht-Erscheinungen in sehr verdünnten Gasen bei und nach dem Durchgang elektrischer Funken;  
von Hrn. A. Morren.**

Docent an d. Facultät d. Wiss. zu Marseille.

(*Ann. de chim. et de phys. Sér. IV. T. IV*, p. 293.)

---

Jedermann kennt und bewundert die leuchtenden Röhren, welche Hr. Geifsler in Bonn mit außerordentlicher Geschicklichkeit anfertigt. Unter diesen Röhren besitzen einige die sonderbare Eigenschaft, ein eigenthümliches milchweisses Licht zu zeigen, während der Inductionsstrom durch sie hingehet, und noch einige Zeit, nachdem derselbe aufgehört hat<sup>1)</sup>. Ich könnte mit Gewissheit angeben, wie Hr. Geifsler bei Anfertigung seiner Röhren dieses Phänomen finden musste, denn ich glaube, dass ihm die Entdeckung desselben gebührt; es erforderte einen grossen Scharfsinn dasselbe so zu benutzen, wie er es gethan.

Man hat dieser Licht-Erscheinung, welche aus einer chemischen Reaction und aus besonderen molecularen Evolutionen entspringt, den Namen *Phosphorescenz* gegeben. Ich behalte diesen Namen bei, obwohl das Phänomen, sowohl in seinem Lichte als in seinen Ursachen, von der bekannten Phosphorescenz abweicht.

Eine Zeitlang war die Meinung verbreitet und ich habe ihr von ausgezeichneten Männern beipflichten gesehen, dass

1) Vergl. Ann. Bd. 110, S. 523 und Bd. 111, S. 621.

es der Sauerstoff sey, dem man diese eigenthümliche und wunderbare Eigenschaft zuschreiben müsse. Dem ist aber nicht also; indeß spielt der Sauerstoff hiebei eine wichtige Rolle und man wird sehen, daß diese Rolle sich anschließt an die leichte Verbindungs-fähigkeit, welche ihm nach vielen neuen Thatsachen zukommt.

Beginnen wir damit, das Phänomen und die dasselbe begleitenden Umstände vollständig aus einander zu setzen.

Leitet man den Inductionsstrom eines kleinen Röhmkorff'schen Apparats durch eine mit gewissen, stark verdünnten Gasen gefüllte Röhre, die von Abstand zu Abstand kugel- oder eiförmige Erweiterungen besitzt (die Durchmesser der Kugeln etwa 7 bis 8 Centim., der der Röhre 1 Centim.), so bemerkt man, daß diese Kugeln ein nebliges und milchiges Weiß annehmen. Diese weisse Farbe von sehr sanftem Licht hält sich im Dunklen einige Zeit nach dem Aufhören des Stroms. Gewöhnlich dauert sie einige Secunden, allein ich besitze Röhren, in denen sie über eine Minute anhält, unter allmählichem Verschwinden.

Dieses Phänomen setzt alle Personen, die es zum ersten Male sehen, in Verwunderung. Das ausgesandte Licht ist von anderen bekannten phosphorescirenden Lichtern gänzlich verschieden. Gewöhnlich ist seine Farbe ein nebliges Weiß; es bildet einen wirklichen weissen Nebel, der im Dunklen sichtbar ist. Oft geschieht es, daß die Kugeln und die weiteren Räume allein das weisse Licht aussenden, und alsdann nimmt die engere Röhre mannigfaltige Farben an, bald ein brillantes Rosa mit schönen Schichtungen, bald ein violettes Blau mit weniger Schichtungen, bald endlich ein sehr sanftes Zeisiggelb ohne alle Schichtung. Oft unterliegt auch die Phosphorenz in den Erweiterungen einer Schwankung vom reinen zum röthlichen Weiß, und in diesem letzteren Fall ist die röthlichgelbe Farbe hervortretend genug, um deutlich die zufällige und während der Reaction stattfindende Anwesenheit von Unteralpeter-säure anzuzeigen. Diesen Charakter habe ich bei den

von Hrn. Geissler in den Handel gebrachten Röhren niehals gesehen, was ohne Zweifel von der angewandten Bereitungsweise herrührt, die ich vielfach abgeändert habe. Ein sehr bemerkenswerther Umstand ist, daß die weisse Farbe sich nicht in der Kugel zeigt, welche den negativen Pol enthält. Dagegen zeigt sie sich reichlich am anderen Pol, und wenn man den Strom längere Zeit hindurch gehen läßt, verläßt der weiße Lichtnebel den negativen Pol und die benachbarten Kugeln, um zum positiven Pol zu fließen.

Das ist in seinen Einzelheiten das Phänomen, welches wir zu studiren und zu erklären haben.

Zunächst werde ich einige Worte über die von mir angewandten Instrumente sagen. Zur Herstellung eines Vacuum konnte ich nicht die gewöhnliche Luftpumpe benutzen. Die durch Fett schlüpfrig gemachten Kolben und Stiefel dieser Pumpe sind eine innerwährende Quelle von Unsauberkeit, von Gas-Absorption und Emanation. Es ist fast unmöglich sie zu trocknen und zu reinigen, auch ist ihr Gebrauch sehr ermüdend. Meine Quecksilberpumpe bietet genau alle diesen Mängeln gegenüberstehende Vortheile dar<sup>1)</sup>; mit ihr ist es sehr leicht, in jedem Moment eines Versuchs, das Gas, welches man auszieht, aufzufangen, und wenn man will, zu analysiren.

Die Nothwendigkeit, eine Inductionsmaschine zu haben, welche ich ohne alle Furcht sie zu verderben, mit einer beträchtlichen Anzahl galvanischer Elemente in Thätigkeit setzen konnte, und welche nach meinem Gefallen, eine mehr oder weniger grosse Lichtmenge zu liefern im Stande war, hat mich genöthigt, mir selber eine besondere Maschine der Art zu machen. Ungeachtet der Güte der Röhmkorff'schen Maschinen, besonders der jetzigen, fürchtete ich doch die des Cabinets der Facultät zu verderben. Ich begnüge mich, in dieser Beziehung nur zu sagen, daß ich

1) Diese Quecksilberpumpe, welche sich a. a. Orte, S. 320 beschrieben findet, ist der Geissler'schen oder Bader'schen ähnlich. Wir werden nächstens auf sie zurückkommen.

sie, vermöge der Vortrefflichkeit des von mir angewandten isolirenden Kitts, dem rohesten und stetigsten Dienste aussetzen konnte und sie doch kräftig wirkte. Hr. Plücker, der ausgezeichnete Physiker in Bonn, war aufs lebhafteste überrascht, als er die Wärmewirkungen sah, die sie in Vergleich mit anderen sehr kräftigen Maschinen gab, und das nur (? P.) mit 15 bis 20 Bunsen'schen Elementen, der größten Anzahl, die ich gewöhnlich anwandte, wenn ich einen sehr kräftigen Funken nötig hatte. Gewöhnlich benutzte ich nur zwei oder drei Elemente, was zur Hervorbringung aller Licht- und Verbindungs-Effekte hinreicht.

Ich darf auch nicht vergessen zu sagen, daß meine Quecksilberpumpe den köstlichen Vorzug hat, durch bloße Öffnung eines Hahns eine langsame Evacuirung einer mit verschiedenen Gasen gefüllten Kugelröhre bis zu jedem Grade zu bewirken.

Solcher Gestalt fand ich Folgendes:

1. Reiner Sauerstoff ist für sich niemals phosphorescirend.
2. Stickstoff verhält sich ebenso, gleichwie schweflige Säure und jedes andere einfache oder zusammengesetzte Gas, sobald es rein und für sich da ist.

Beiläufig gesagt, ist der Stickstoff ein sehr sonderbares Gas. Wenn er vollkommen rein und verdünnt ist, so besitzt das durchgehende Licht eine sehr schöne, sehr brillante kupferrothe Farbe und vor allem in hohem Grade die Eigenschaft, Fluorescenz zu erregen in den Substanzen, welche derselben fähig sind, wie Lösungen von schwefelsaurem Chinin, von Fraxin, Aesculin usw., Uranglas und Gläser mit reichem Gehalt an Natron und Bleioxyd. Ausnahme machen die böhmischen und deutschen Gläser, welche viel Kali, aber kein Natron und Bleioxyd enthalten. Diese Gläser sind sehr wenig leuchtend und in ihnen hat das Stickgas ein ganz anderes und viel bescheideneres Licht.

Das Spectrum des Stickstoffs ist reich nicht nur an gelben Strahlen, sondern auch an violetten und ultravioletten, wenn man es so einrichtet, daß man in Röhren von schönem Licht, die Stickstoff enthalten, Quecksilberdampf

hat. Dieser letztere Umstand giebt der Röhre sogleich einen prächtigen Lichtglanz und eine bewundernswerte Fluorescenz. Das Spectrum des Quecksilberdampfs besitzt eine sehr schöne und sehr breite, violette Linie. Ich besitze derartige Röhren von mehr als 1 Meter Länge und über 2 Centimeter Durchmesser, welche ein wahres Wunder sind.

Nach dieser Abschweifung komme ich auf meinen Gegenstand zurück. Ich habe eine außerordentliche Schwierigkeit darin gefunden, vollkommen reine Gase zu erhalten. Ich erkannte ihre Reinheit sowohl vorher durch directe Analyse, als nachher, wenn die leuchtende Röhre zubereitet war, durch Spectralanalyse, welche bekanntlich einer sehr grossen Feinheit fähig ist. Ungeachtet aller möglichen Sorgfalt konnte ich keinen chemisch reinen Sauerstoff erhalten; immer fanden sich Spuren von Stickstoff darin, welche Bereitungsweise ich auch anwenden mochte. So fand ich 1, 2, 3 und selbst 4 Proc. Stickstoff in einem mit äusserster Sorgfalt bereiteten Sauerstoff. Glücklicherweise aber zeigt unter diesen Umständen der verdünnte Sauerstoff, selbst wenn man den Stickstoffgehalt auf 10, 15 und 20 Proc. vermehrt, nicht die geringste Spur von Phosphorescenz. Dem ist jedoch nicht mehr so, wenn der Stickstoffgehalt auf 30 Proc. gesteigert wird; dann erhält man eine merkliche, aber wenig dauerhafte Phosphorescenz. Diese zeigt und erhält sich bis 40 Proc.; dann aber nimmt sie sehr rasch ab und erscheint bei fernerer Vermehrung der Stickstoffmenge nicht wieder.

Dieselbe Phosphorescenz wird lebhafter und zeigt sich in sehr verschiedenen Gemengen von Stickstoff und Sauerstoff, wenn man denselben entweder etwas Kohlensäuregas oder einen Tropfen einfach gewässerter Salpetersäure zusetzt. In beiden Fällen erscheint die Phosphorenz gut, aber nicht auf die Dauer; dagegen wird sie dauerhaft und wahrhaft prächtig, wenn man dem Gemenge von Stick- und Sauerstoffgas ein wenig wasserfreier Schwefelsäure hinzufügt. Es gelingt auch sehr gut, wenn man statt letzte-

rer einen Tropfen Nordhäuser Vitriolöl anwendet. Endlich erscheint auch die Phosphorescenz, wiewohl sie etwas auf sich warten lässt, wenn man diese beiden Säuren durch schwefligsaures Gas ersetzt. Allein wir werden weiterhin sehen, dass in diesem Falle die schweflige Säure  $\text{SO}_2$ , unter dem Einfluss des elektrischen Funkens und in Gegenwart von Stickstoff und Sauerstoff, in Schwefelsäure  $\text{SO}_3$ , übergeht. Diese drei Verfahrensweisen sind also eins und dasselbe. Es ist Schwefelsäure  $\text{SO}_3$ , in Gegenwart passender Verhältnisse von Sauerstoff und Stickstoff. Die Nothwendigkeit dieser drei Körper zur Erzeugung einer schönen Phosphorescenz führt natürlich zu einer einzigen Hypothese, wenigstens, was kaum annehmbar ist, wenn man nicht behauptet, dass sich, unter diesen schwachen Drucken und bei Gegenwart des elektrischen Funkens, unbekannte Verbindungen bilden. Ueberdiess unterstützen andere, weiterhin angeführte Thatsachen, die Annahme, dass hier nur die einzige in der Chemie bekannte Verbindung von Stickstoff, Sauerstoff und Schwefelsäure wirksam sey.

Bringt man die drei Körper, Stickstoff, Sauerstoff und Schwefelsäure zusammen, so bleiben sie, so lange der elektrische Strom nicht durchgeht, bloß gemengt; allein man weiß und der röhliche Dampf beweist es, dass zunächst der Stickstoff sich oxydirt und in den Zustand von  $\text{NO}_2$  übergeht, und darauf, bei Gegenwart eines Ueberschusses von Sauerstoff,  $\text{NO}_4$  bildet. Allein alsdann ist die Schwefelsäure  $\text{SO}_3$ , in Gegenwart dieser oxydirten Stickstoffverbindungen, genau unter den Bedingungen, welche in den Bleikammern die Bildung der Verbindung  $\text{NO}_3 \cdot 2\text{SO}_3$  zulassen. Es wird also wirklich diese Verbindung gebildet, und da sie sehr flüchtig ist, erfüllt ihr Dampf die Röhre. Ueberdiess ist von den anderen Gasen ein Ueberschuss vorhanden, der veränderlich ist, da man Stickstoff, Sauerstoff und  $\text{SO}_2$  in beliebigen Verhältnissen nehmen kann. So lange diese Verbindung nicht gebildet ist, erscheint auch die Phosphorescenz nicht, denn letztere kommt erst bei

continuirlichem Durchgang des Funkens und nach einiger Zeit zum Vorschein und erlangt ihre ganze Schönheit.

Das ist die natürlichste Idee in Betreff dieser Phosphoreszenzphänomene, die sich bei jedem Durchgang des elektrischen Stroms unaufhörlich erneuen und diese Idee muß man auf alle mögliche Weise zu controliren suchen; indem ich es that, fand ich verschiedene Methoden zur Darstellung phosphorescirender Röhren.

Jeder weiß, daß der elektrische Funke, wenn er durch ein zusammengesetztes Mittel geht, entweder dasselbe zerstellt oder eine neue Verbindung bildet. So trennt der Funke den Wasserstoff vom Chlor wenn er eine Atmosphäre von Chlorwasserstoff durchstreicht, und umgekehrt bildet er Chlorwasserstoffsäure, wenn er durch ein Gemenge von Chlor und Wasserstoff geht. Man begreift also leicht, daß sich in der ersten Zeit des Versuchs die Verbindung  $\text{NO}_3 \cdot 2\text{SO}_3$  bildet, daß darauf, unter Wirkung eines fortgesetzten Evacuirens, welches besonders Sauerstoffgas und Stickgas wegnimmt, ein Moment eintritt, wo der Körper  $\text{NO}_3 \cdot 2\text{SO}_3$ , der als Dampf in der Röhre vorwaltet, wiederum zerstellt wird, die Säure  $\text{SO}_3$  am positiven Pol abgibt und  $\text{NO}_3$  am negativen Pol. Allein die molekulare Zersetzung erfolgt überall unter Wirkung des Stroms, und da das weiße phosphorescirende Licht Null ist am negativen Pol, dagegen sehr schön nach dem positiven ist, so darf man daraus schließen, daß es der starre Körper  $\text{SO}_3$  sey, der, indem aus dem gasigen Zustand in den starren übergeht, sich mit dieser molekularen leuchtenden Weisse bekleidet, nicht aber  $\text{NO}_3$ , welches im Gaszustand war und in diesem Zustand verbleibt. Wenn der Funke nicht mehr durchgeht, kehrt  $\text{NO}_3$  unter Gegenwart des Sauerstoffs in den Zustand von  $\text{NO}_4$  zurück, der Körper  $\text{SO}_3$  bildet wiederum die Verbindung  $\text{NO}_3 \cdot 2\text{SO}_3$ , und der Dampf dieser Verbindung unterliegt bei einem abermaligen Durchgang des Stroms von Neuem der Zersetzung und der Phosphorescenz.

Um diese Hypothese soviel wie möglich zu prüfen, stellte ich folgende Versuche an, die sie alle bestätigt haben.

Zuvörderst erzeugte ich direct die Verbindung  $\text{NO}_3 \cdot 2\text{OS}_3$  vollkommen wasserfrei (was wesentlich ist) und brachte eine kleine Menge davon in eine Glaskugel (<sup>1</sup>) mit etwas atmosphärischer Luft oder Sauerstoff. So wie das Vacuum hinreichend war, kam auch die Phosphorescenz zum Vorschein. Die Verbindung  $\text{NO}_3 \cdot 2\text{OS}_3$  giebt also direct und sogleich die Phosphorescenz.

Als letzte Controle hatte ich zu untersuchen, welche Rolle der Sauerstoff und der Stickstoff spielen, wenn der eine oder der andere im Ueberschusse ist.

Vereinigt man etwas Schwefelsäure mit einem Gemenge von Stickgas und Sauerstoff in solchem Verhältnis, daß der Sauerstoff nur eben in der zur Entstehung der Reaction erforderlichen Menge vorhanden, also der Stickstoff allein in Ueberschusse da ist, so erzeugt sich die Phosphorescenz, bleibt aber vollkommen weiß. Fügt man ein wenig Sauerstoff hinzu, so sieht man sogleich nach dem Durchgang des Funkens sehr deutlich röthliche Dämpfe, herrührend von dem Uebergang des freigewordenen Gases in den Zustand von  $\text{NO}_4$ ; und diese röthliche Reaction ist so sichtbar, daß man sie in hellem Tageslicht wahrnehmen kann. Wenn man dagegen statt des einen oder anderen der obigen Gase, schweflige Säure vorwalten läßt, so führt sie ihre schön violette Farbe mit sich. So giebt man sich ganz leicht Rechenschaft von allen Farben, die das Phänomen begleiten. Wenn es gelingt, genau die richtigen Verhältnisse von Sauerstoff und Stickstoff zu treffen, so zeigt sich die Phosphorescenz überall, in den Röhren, wie in den Kugeln. Der weiße Dampf ist alsdann sehr dicht und sehr dick. Walten der Sauerstoff vor, so haben die Kugeln ein röthliches Ansehen, und die Verbindungsrohren sind leicht rosa weiß, ohne Schichtung. Dagegen sind diese sehr glänzend rosa, kupferfarben und mit schönen Schichtungen versehen.

1) Man kann die Verbindung nicht allein in die Röhre bringen; die Gegenwart eines Gases ist unvermeidlich.

sobald der Stickstoff vorherrscht, und violett, wenn die schweflige Säure überwiegt.

Wenn nun, und das ist die schlagendste Bestätigung meiner Hypothese, die Verbindung  $\text{NO}_3 \cdot 2\text{OS}_3$  sich bei diesen Operationen bildet, so muß man sie direct darstellen können, wenn man den Funken durch einen Ballon leitet, welcher die Gase  $\text{SO}_2$ , N und O unter gewöhnlichem Druck enthält. Der Versuch gelang vollständig. Ich glaube es ist das erste und eins der sonderbarsten Beispiele von Synthese eines aus drei Elementen zusammengesetzten Körpers. Die Anstellungsweise desselben war folgende.

Eine sorgfältig graduirte Eprouvette von etwa 300 Cubikcentim. Raumgehalt, ruht auf einer größeren Eprouvette voll Quecksilber. Die erste ist oben verschlossen und mit dem oberen Theil befestigt an einem beweglichen Gestell, welches erlaubt, sie in dem Quecksilber zu heben oder zu senken. Zwei Röhren öffnen sich in ihrem oberen Theil und gestatten, durch eine von ihnen, jedes beliebige Gas in dieses kleine Gasometer einzuführen, während es aus der anderen entweichen kann. Der durch die Bewegung des Gestells erzeugte Quecksilberdruck unterstützt diese Ueberführung des Gases. Die Eintrittsröhre ist mit einem Glashahn versehen; die andere ist verknüpft mit einer Glaskugel von etwa 150 Cubikcent. Raumgehalt, die mit zwei Platin-Elektroden versehen ist; an diese Kugel, gegenüber der zur Eprouvette führenden Röhre, ist eine andere gelötet, die einen Hahn hat. Wie man sieht, ist es leicht, beliebige Gase in die Eprouvette einzuführen, und sie darin verweilen zu lassen, bis sie vollständig gemengt sind. Man kann dann eben so leicht eine kleine Menge herauslassen, analysiren und den Rest sorgfältig messen.

Auf solche Weise vereinigte ich eine vollkommen bekannte Menge von Stickstoff, Sauerstoff und schwefliger Säure, und ließ eine gehörige Zeitlang den elektrischen Funken durchschlagen. Sogleich erschien und verdichtete sich in der Kugel eine Fülle von einem weißen, krystallinischen, schneeförmigen Product, welches die Wände der-

selben bekleidete. Analysirt ergaben sich diese Krystalle genau als  $\text{NO}_3 \cdot 2\text{SO}_3$ .

Unter sehr vielen Versuchen gab einer folgende Zahlwerthe. Die Kugel, in welcher der Durchgang des Funkens die Verbindung bewerkstelligte, wurde mit der gasometrischen Eprouvette durch ein Kautschuckrohr verknüpft. Man wägte diese Kugel vor dem Versuch und nachher, als sie das gebildete Product enthielt. Nun kannte man:

1. Die Menge und die Zusammensetzung der Gase zu Anfange des Versuchs.
2. Die Menge und die Zusammensetzung der Gase am Schlusse desselben.
3. Das von jedem Gase verschwundene Volum.
4. Die Gewichtszunahme der Kugel d. h. das Gewicht des gebildeten Products.

Man hatte also vollständig die Mittel, synthetisch Alles zu kennen, was in die Zusammensetzung des gebildeten Products eingeht. Dies sehr genaue Mittel der Controle erfordert nur wenig Geschicklichkeit; unter geübten Händen ist der Versuch einfach und leicht. Ich habe ihn sorgfältig beschrieben, weil ich eben so verfuhr, um durch Elektricität die Synthese von Ammoniak, Acetylen usw. zu bewerkstelligen. Folgendes sind die Details des Versuchs.

Die Verbindungsampulle wiegt 14<sup>grm</sup>, 196, ihr Inneres fasst 155 CC., das Gesamtvolum der in die Eprouvette und Ampulle gebrachten Gase ist 569 CC., reducirt auf den Druck 0°,76 und die Temperatur 10°,5 C., welche während des ganzen Versuchs dieselbe blieb.

Das Gas bestand aus:

$\text{SO}_2$	188 CC.
Sauerstoff	243
Stickstoff	138
	569.

Nach siebenstündiger Durchleitung des Funkens blieb ein Gasvolum von 165 CC., dessen Zusammensetzung war:

$\text{SO}_2$	46 CC.
Sauerstoff	57
Stickstoff	62

165.

Die zur Vertreibung des darin befindlichen Gasgemenges sorgfältig mit trockner Luft ausgespülte Ampulle wurde vor der Lampe zugeschmolzen und gewogen. Ihr Gewicht hatte 0<sup>grm</sup>.601 zugenommen.

Nimmt man nun den Unterschied zwischen den Gasvolumen zu Anfang und zu Ende des Versuchs, d. h. zwischen 569 und 165, so erhält man 404 Volume als gesamte Absorption; und durch den Vergleich der Zusammensetzung des Gasgemenges vor und nach dem Versuch gelangt man zu folgenden Resultaten

	Cubikcentimeter
(188 - 146) $\text{SO}_2$	= 142 $\text{SO}_2$
(234 - 57) Sauerstoff	= 186 Sauerstoff
(138 - 62) Stickstoff	= 76 Stickstoff
	404.

Diese Volume, multipliziert mit den respectiven Dichtigkeiten, geben in Gewicht;

$\text{SO}_2$	0, <sup>grm</sup> .320
Sauerstoff	0, 206
Stickstoff	0, 070
Summa:	0, 596

oder anders, wenn man in  $\text{SO}_2$  den Sauerstoff vom Schwefel trennt:

Schwefel	0, <sup>grm</sup> .160
Sauerstoff	0, 366
Stickstoff	0, 070
	0, 596

Der Versuch gab 0<sup>grm</sup>.601; der, wie ich glaube, zu vernachlässigende Unterschied ist also nur 0<sup>grm</sup>.005 und entspringt ohne Zweifel aus der Absorption einer geringen Menge Feuchtigkeit durch eine so zerfließliche Verbindung.

In 0<sup>grm</sup>.596 der Verbindung  $\text{NO}_3 \cdot 2\text{SO}_3$  wären enthalten:

Schwefel	0, <sup>grm</sup> .159
Sauerstoff	0, 364
Stickstoff	0, 073

Eine vollständigere Bestätigung kann man nicht verlangen.

Mit dieser Verbindung erhält man in den Röhren sogleich die Phosphorescenz mit allen oben angegebenen Umständen, je nach dem Vorwalten des Gases, welches  $\text{NO}_3 \cdot 2\text{OS}_3$  begleitet.

Die Schlüsse aus dieser Arbeit sind also folgende:

1. Reiner trockner Sauerstoff ist bei keinem Grade der Verdünnung phosphorescirend.
2. Jedes andere, einfache oder zusammengesetzte Gas, für sich genommen, zeigt, verdünnt, auch niemals Phosphorescenz.
3. Ein Gemenge von etwa 37 Stickstoff und 100 Sauerstoff gibt eine schwache und wenig dauerhafte Phosphorescenz.
4. Hervortretender wird die Phosphorescenz, wenn man diesem Gemenge etwas Dampf von einfach gewässerter Salpetersäure hinzufügt.
5. Endlich wird sie prachtvoll und dauerhaft, wenn man dem obigen Gemenge einen Tropfen Nordhäuser Vitriol oder ein Minimum vom Dampfe der wasserfreien Schwefelsäure zusetzt.
6. Zu demselben Resultat gelangt man auch, wenn man den elektrischen Funken durch ein verdünntes Gemenge von 500 Sauerstoff, 200 Stickstoff und 300  $\text{SO}_3$  gehen lässt oder durch ein Gemenge von 100 sehr trockner atmosphärischer Luft und 30 sehr trocknen Sauerstoffs, dem man etwas Nordhäuser oder wasserfreie Schwefelsäure hinzugesetzt hat.
7. Schwefelsäure ist nicht die einzige Säure, welche das Phänomen hervorzubringen vermag. Salpetersäure, Kohlensäure und ohne Zweifel andere Säuren thun es ebenfalls. Dies lässt die Möglichkeit zu, diese Säuren auf dieselbe Weise mit  $\text{NO}_3$  zu verbinden, wie  $\text{SO}_3$  mit  $\text{NO}_3$  in dem Producte der Bleikammern verbunden ist.
8. Die Verbindung  $\text{NO}_3 \cdot 2\text{SO}_3$  kann in passenden Gefäßen direct durch den Einfluss der elektrischen Funken gebildet werden.

**XIII. Berichtigung wegen einer neuen Erde;  
von Hrn. Dr. C. Bischof und Hrn. C. Holthof.**

---

In diesen Annal. Bd. 122, S. 646 veröffentlichte Einer von uns eine Notiz über die gemeinschaftlich revidirten Reactionen einer in einem Kalkmineral — Flußspath von Goslar am Harze — gelegentlich der Darstellung von Fluorammonium erhaltenen »neuen Erde«. Als die aus nicht 2 Pfd. Flußspath dargestellte Menge von saurem Fluorammonium zur Abscheidung etwaiger Beimengungen mit Ammoniak und kohlensaurem Ammoniak zersetzt worden, wurden neben Kieselerde, übergerissenem Kalk, etwas Thonerde und geringen Mengen von Eisen, Mangan, Phosphorsäure und Schwefel, Reactionen erhalten, welche auf eine ganz besondere Substanz schließen ließen.

Diese wurde nach verschiedenen Reinigungen von den genannten Beimengungen, durch wiederholtes Eindampfen zur Trockne, Digestion mit kohlensaurem Baryt, Fällen mit Schwefelammonium und Digestion mit Kali schließlich mit kohlensaurem Ammoniak behandelt. Das Filtrat wurde zur Prüfung auf möglicher Weise vorhandene seltene Erden mit Oxalsäure gefällt und dieser Niederschlag — dessen Filtrat mit Kali und Ammoniak behandelt, auch noch bei Weinsäuregegenwart eine starke Fällung gab — mit geglihtem Terpentintruf gemengt im trocknen Chlorstrom erhitzt. Die etwa 1 Decigrm. betragende Menge, welche nur sehr geringe Spuren von Eisen und spectralanalytisch geringe Kalkbeimengungen gezeigt hatte, gab hierbei ein stark an der Luft rauchendes Sublimat von weissen durchsichtigen Nadeln, während nach Verbrennung der Kohle nur ein ganz geringer Rückstand (von einigen Milligrm.) blieb, welcher im Spectroskop glänzende Kalkreactionen zeigte, also als Chlorcalcium angesehen werden musste.

Dieses sonderbare, nur auf Anwesenheit durch Herüberreissen ins Destillat gelangte Mengen von Zirkon oder

Thorerde, respective eines besondern flüchtigen Chlorids, deutende Verhalten, veranlaßte uns zunächst das mit Schwefelsäure zersetzte Mineral wie auch unzersetzes auf nassem Wege zu behandeln. Es wurde davon eine Portion mit Salzsäure und Salpetersäure ausgekocht, das Filtrat im Wasserbade eingeengt, und zur Zerstörung der Fluorverbindungen mit Schwefelsäure gekocht. Die Flüssigkeit wurde hierauf mit kohlensaurem Natron neutralisiert und zur Zersetzung des Gypses, sowie zur Entfernung der Thonerde, der Phosphorsäure und auch der Kieselerde mit Kali gekocht, das Gefällte wieder in Salzsäure gelöst und die noch etwa mittiedergerissene Kieselerde wie die Erden weiter nach bekannter Methode abgeschieden. Die resultirende Substanz schließlich mit Ammoniak gefällt und mit kohlensaurem Ammoniak digerirt, gab schon beim Erhitzen, mehr noch bei Zusatz von Kali einen starken voluminösen bläulich weissen Niederschlag (2 Decigrm.), welcher im Spectroskop kaum Spuren von Kalk zeigte und sehr geringe Mengen von Eisen enthielt. Ebenso war er, wie schon wegen der Unlöslichkeit der Phosphate in kohlensaurem Ammoniak zu erwarten, *Phosphorsäurefrei*.

Er löste sich in Essigsäure und verdünnten Mineral-säuren leicht auf, gab mit Kali und kohlensaurem Natron einen starken, mit Ammoniak einen geringeren Niederschlag, in dessen Filtrat kohlensaures Natron gleich eine starke voluminöse Fällung hervorbrachte. Weinsäure hinderte diese Fällung nicht, Phosphorsäure gab einen in überschüssiger Phosphorsäure unlöslichen Niederschlag. Vor dem Löthrohr erhitzt, ließ sich die Masse sehr deutlich, wenn auch ziemlich schwierig, doch dem Anscheine nach vollständig hertreiben.

Nach diesen Resultaten konnten wir uns der Ansicht nicht verschließen, einen eigenthümlichen, neuen Körper vor uns zu haben und wurden zu obiger Notiz veranlaßt. Leider ist uns, nachdem wir eine Reihe der mühseligsten Operationen zur Entfernung der Fluorverbindungen, der Phosphate, der bekannten eigentlichen Erden unter mög-

lichster Vermeidung der dem Anscheine nach die Fällung hindernden und sehr lösend wirkenden Ammoniaksalze durchgeführt hatten, nicht gelungen auf Grund obiger Reactionen, sowohl im Destillat, als im Rückstand bei Flusssäurebereitung, diesen Körper wieder zu erhalten. Im Gegentheil fanden wir meist schlieflich geringe Mengen, die aber aus Verunreinigung bestanden, welche beim Eindampfen grösserer Mengen Flüssigkeit aus den Gefäßen aufgenommen waren oder welche herrührten aus den angewandten, zu so heiklen Prüfungen, nicht hinreichend reinen Chemikalien.

Hiedurch, sowie durch den Umstand, dass wie später nicht geringe Mengen von einer eingesprengten Arsenikverbindung — wahrscheinlich Arsenikkies neben Schwefelkies — und die Anwesenheit der Arseniksäure, der Schwerfällbarkeit derselben durch Schwefelwasserstoff halber, übersehen waren, liegt die Möglichkeit vor, dass wir durch eine arsensaure Verbindung getäuscht wurden und halten für unsere Pflicht dieses hiermit mitzutheilen, wenn wir auch nicht wohl annehmen können, dass, nach den *sorgfältigsten* Prüfungen auf Phosphorsäure, ein Irrthum durch Arseniksäure denkbar.

Leider war uns gleich nach den ersten Versuchen, wie bereits zur Zeit angeführt wurde, das Material ausgegangen, und tritt die Vermuthung nahe, dass wir vergebens aus diesem *neuen* Materiale — was sich durch einen fast dreifach grössern Gehalt an Arsensäure schon als von dem ersten verschieden documentirte — eine Substanz zu erhalten suchten, welche gar nicht darin enthalten war. Bemerkenswerth dürfte noch erscheinen, dass bei einer direct mit Salzsäure ausgekochten Quantität von 10 Pfund Flusspath *so viel* Kupfer ausgezogen wurde, dass dessen Menge quantitativ bestimmbar, auch war Antimon nachweisbar, wie bedeutende Spuren von Kali und Lithion. Bei einer andern gleichen, vorher mit Schwefelsäure zersetzen Quantität Flusspath, die hierauf mit Salz-Salpetersäure ausgekocht, wurde aus der *stark sauren* Lösung durch Schwefelwasserstoff mit dem Schwefelkupfer Thallium, herrührend aus der Schwefelsäure

fast *völlig* mitniedergerissen, wogegen in der eingedampften Flüssigkeit im Spectroskop kaum noch Spuren des Thallium's zu erkennen waren.

Da wir gleichzeitig mit aller Sicherheit die Anwesenheit eines durch Oxalsäure in mineralsauren Lösungen fällbaren, mit Schwefelsäure ein schwer lösliches Salz bildenden Körpers nachgewiesen, so ist auch möglich, dass wir durch eine Verbindung eines Cer- oder Yttererdeoxyds irre geführt waren, wenn auch diesen die Flüchtigkeit des neuen Körpers nicht entspräche; doch sind die Verbindungen dieser seltenen Erden wohl noch nicht hinreichend beschrieben, um sichern Anhalt zu geben.

Auf alle Fälle muss angenommen werden, dass dieser Körper nur in äußerst geringen Mengen in dem Mineral vorkommt, und die Gewinnung bei gewöhnlichen Hülfsmitteln eines Privatlaboratoriums kaum möglich wird. Deshalb haben wir uns, wenn auch nach langem Widerstreben entschlossen, die Verfolgung des Gegenstandes vorab auszusetzen, indem wir uns erlauben die Aufmerksamkeit Anderer darauf zu lenken, welche in der Lage sind demselben in *unbeschränkter* Weise nachzuforschen.

Coblenz, den 22. October 1865.

#### **XIV. Ueber die Farbenzerstreuung durch Drehung der Polarisationsebene in Zuckerlösungen; vom Prof. Stefan.**

(Aus d. Anzeiger d. Wiener Akad. 1865, No. XXIV.)

**D**as von Soleil bei seinem Saccharimeter angewandte Compensationsverfahren gründet sich auf die Voraussetzung, dass es zu jeder Lösung von Rohrzucker eine linksdrehende Quarzplatte von solcher Dicke gebe, dass die beiden mitsammen einen Körper liefern, welcher die Eigen-

schaft, die Polarisationsebene zu drehen, nicht mehr besitzt. Der Winkel aber, um den ein Körper die Polarisationsebene eines Strahles dreht, ist abhängig von der Farbe des Strahles. Sollen also zwei Körper sich compensiren, so müssen ihre Drehungen für jede beliebige Farbe gleich groß und entgegengesetzt seyn; die gleiche absolute Drehung für eine Farbe muss von einer gleichen Dispersion begleitet seyn.

Um die Richtigkeit dieser Voraussetzung für Quarz und Zucker zu prüfen, wurden die Drehungen verschiedener Zuckerlösungen für die Fraunhofer'schen Hauptlinien bestimmt und durch die entsprechenden Drehungen des Quarzes dividirt. Die so erhaltenen Quotienten sollten constant seyn; sie sind es auch mit großer Annäherung. Die größten Abweichungen betragen 1 bis 2 Proc. und sind derart, dass daraus für Zucker eine etwas größere Dispersion folgt.

Eine so große Uebereinstimmung wie zwischen Quarz und Zuckerlösungen findet sich nicht mehr zwischen Quarz und anderen Flüssigkeiten. Die aus Wiedemann's Bestimmungen für Terpentinöl und Citronenöl berechneten Quotienten zeigen für ersteres Abweichungen von 4 Proc., für letzteres von 14 Proc., und zwar so, dass Citronenöl viel stärker, Terpentinöl etwas schwächer als Quarz die Polarisationsebenen dispergiert. Das Soleil'sche Verfahren bietet also für Terpentinöl weniger Genauigkeit als für Zucker, und noch viel weniger für Citronenöl.

Das vor Kurzem von Jellet construirte Saccharimeter gründet sich ebenfalls auf das Prinzip der Compensation, nur wird der Zucker durch Terpentinöl compensirt. Aus dem eben Gesagten ist zu ersehen, dass dieses Verfahren nicht den Grad von Richtigkeit besitzt, wie das Soleil'sche. Und dann ist noch die Frage, ob das Terpentinöl seiner drehende Eigenschaft nach constant bleibe.

Die gemessenen Drehungen auf 100 Proc. Lösungen reducirt geben für die molecularen Drehungsvermögen des Rohrzuckers in Bezug auf die Fraunhofer'schen Hauptlinien folgende Zahlen

<i>A</i>	<i>a</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
$38^{\circ} 47'$	$43^{\circ} 32'$	$47^{\circ} 56'$	$52^{\circ} 70'$	$66^{\circ} 41'$
<i>E</i>	<i>b</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>
$84^{\circ} 56'$	$87^{\circ} 88'$	$101^{\circ} 18'$	$131^{\circ} 96'$	$157^{\circ} 06'$

Die Länge der Zuckersäule ist dabei = 100<sup>mm</sup> gesetzt.

---

## XV. Historische Notiz betreffend die Verzögerung der Rotationsgeschwindigkeit der Erde.

(Aus einem Briefe des Hrn. Prof. A. Fick in Zürich an den Herausgeber.)

Bekanntlich ist vor einiger Zeit bei Gelegenheit einer Discussion über verschiedene Punkte der mechanischen Wärmetheorie auch die Frage berührt worden, wer den Gedanken zuerst ausgesprochen habe, dass die Rotationsgeschwindigkeit der Erde durch die Einwirkung von Sonne und Mond unter Vermittelung der Meeresflutten verzögert werden müsse. Ich habe nun gefunden, dass keinem der Lebenden in diesem Gedanken die Priorität zukommt<sup>1)</sup>. Es hat ihn vielmehr Kant vor mehr als 100 Jahren bereits klar und ausführlich entwickelt in einer kleinen Abhandlung, die anno 1754 erschienen ist unter dem Titel: »Untersuchung der Frage, welche von der königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin zum Preise für das jetzt laufende Jahr aufgegeben worden: ob die Erde eine Veränderung ihrer Axenlänge erlitten habe?« Diese Abhandlung findet sich abgedruckt in der Hartenstein'schen Ausgabe von Kant's Werken Bd. VIII Leipzig bei Modes und Baumann 1838.

Zürich, 28 November 1865.

1) Nach gewöhnlicher Annahme hätte J. R. Mayer diesen Gedanken zuerst ausgesprochen in seiner Schrift: *Beiträge zur Dynamik des Himmels*, Heilbronn, 1848.

P.

# N a m e n r e g i s t e r

zum

Jahrgang 1865.

---

Bee  
leit  
pill  
V,  
Berg  
Wa  
Wa  
Bez  
d.  
V,  
Bisc  
Ber  
VI,  
Blas  
men  
d.  
VI,  
Boh  
und  
V,  
Bon  
Flü  
rere  
dirt  
Bou  
V,  
Bro  
tun  
IV,

(Die Bände 124, 125, 126 sind durch IV, V, VI bezeichnet.)

B.

**Beetz**, W., Ueb. d. Elektricitätsleit in Elektrolyten, die in Capillarröhren eingeschlossen sind, V, 126.

**Berger**, Ueb. das Gefrieren des Wassers und Hagels, IV, 415. — Wald und Witterung, IV, 528.

**Bezold**, W. v., Ueb. d. Verhalt. d. starr. Isolatoren gegen Elektr. V, 132.

**Bischof**, C. und Holthof, C., Berichtig. wegen e. neuen Erde, VI, 655.

**Blaserna**, P., Ueb. die Zusammendrückbarkeit d. Kohlensäure u. d. atmosphärischen Luft b.  $100^{\circ}$ , VI, 594.

**Bohn**, B., Ueb. d. Farbensehen und d. Theorie d. Mischfarben, V, 87.

**Bondy**, C., Ueber d. Auftrieb in Flüssigkeiten, welche spec. schwere u. leichtere Körper suspendirt enthalten, VI, 314.

**Boudin**, Statistik d. Blitzschläge V, 644.

**Brodie**, B. C., Theoret. Betrachtungen über d. organ. Superoxyde, IV, 61.

**Buchner**, C., Die Meteoriten in Sammlungen, IV, 569.

**Buff**, H., Ueber Ton-Erregung durch d. elektr. Strom, IV, 78.

**Burckhardt**, Ueber mangelnden Farbensinn, IV, 343.

C.

**Christoffel**, C. B., Ueb. d. Dispersion d. Lichts, IV, 53.

**Clausius**, R., Ueber d. Berechn. d. Dichtigk. des gesättigten Wasserdampfs, IV, 345. — Ueb. verschiedene für d. Anwendung bequeme Formen der Hauptgleich. der mechanischen Wärmetheorie, V, 353.

**Cornu**, A., Theoreme über die Reflex. an Krystallen, VI, 466.

D.

**Delafontaine**, M., Absorptions-spectr. d. Didyms, Erbiums und Terbiums, IV, 635.

**Delarive**, s. Rive, de la.

**Dellmann, F.**, Negative Luft-Elektr. bei heiterem Himmel, V, 175.

**Deneke, F.**, Neuer akust. Interferenz-Versuch, V, 335.

**Desains, P.**, Ueber d. Aussen-dung von Lichtstrahlen b. Roth-gluth, VI, 507.

**Descloizeaux, G.**, Gegenwart von krystalls. Magnesia-Eisen-Carbonat im Meteoriten v. Orgueil, IV, 191. — Anwend. d. Polarisations-mikroskop u. Studium d. doppelt-brech. Eigenschaften, welche zur Bestimm. d. Krystalsyst. natürl. u. künstl. Krystall. geeignet sind, VI, 387.

**Dietzenbacher und Moutier,** Eine Eigensch. d. Schwefels, IV, 644.

**Dufour, L.**, Ueber d. Sieden d. Wassers und e. wahrscheinl. Ursache d. Explod. d. Dampfkessel IV, 295.

## E.

**Edlund, E.**, Quantitat. Bestimm. der bei Volumverändr. d. Metalle entstehend. Wärme-phänomene u. des mechan. Wärme-Aequivalents unabhängig v. d. innern Arbeit d. Metalls, VI, 539.

**Emsmann, H.**, Distanzmesser ohne Standlinie und Winkelmess. IV, 337.

## F.

**Fernet, E.**, Erschein. am Induc-tionsfunkens, IV, 351.

**Fick, A.**, Histor. Notiz, betreff. die Verzögr. d. Rotation d. Erde, VI, 660.

**Fizeau, H.**, Ueb. d. Ausdehn. d. Diamant. u. d. krystlls. Kupfer-oxyduls unter Einfluss d. Wärme, VI, 611.

## G.

**Gerland, E.**, Ueb. d. Verhalten zweier Salze i. Lösungen, IV, 179.

**Grüel, A. C.**, Die Gas-Accord-Harmonika, VI, 633. — Verfahr. z. Herstell. astatisch. Nadelpaare, VI, 640.

## H.

**Hankel, W.**, Maafbestimm. der elektromotor. Kräfte, VI, 286. — Ueb. die v. G. Meissner an d. Oberfläche d. menschl. Körpers beobacht. elektr. Erschein., VI, 299. — Neue Theorie d. elektr. Erschein., VI, 440.

**Hauer, C. v.**, Krystallf. d. essigs. Uranoxyd - Natrons, V, 149. — Ueb. e. Reihe v. Verbindd. d. Vitriole in bestimmten Aequivalent-verhältnissen, V, 635.

**Hering, E.**, Gegenbemerk. über d. Form d. Horopters, IV, 638.

**Hilger, Ueb.** d. Vorkomm. v. Kobalt und Nickel in d. Fablerzen, IV, 500. — Zerleg. e. Kupferwismutherzes von Wittichen, V, 144.

**Hittorf, W.**, Zur Kenntniss des Phosphors, VI, 193.

**Holt Hof, C.**, s. Bischof, C.

**Holtz, W.**, Neue Elektrisirma-schine, VI, 157.

**Huggins, W.**, Ueb. d. Spectra einiger chem. Elemente, IV, 275 und 621.

## J.

**Janssen, J.**, Ueb. d. irdisch. Li-nien d. Sonnenspectr., VI, 480.

**Jenkin, F.**, Etalon f. elektr. Wi-derstand, IV, 641. — Ueber die neue von d. British Assoc. adop-tierte elektr. Widerstands-Einheit, VI, 369.

**Jenzsch, G.**, Flüssigkeits - Ein-

schl  
Ueb  
497.  
Jung  
Ern  
dore  
292.

Kay  
wit  
Kes  
Bra  
VI,  
Ket  
Lie  
Kno  
sion  
Kno  
Th  
d.  
Koh  
che  
con  
620.  
Kre  
d.  
Ue  
bin  
Ku  
d.  
tö  
51.

Ma  
wo  
te  
da  
Ma  
de  
un  
le  
Ma  
th  
Ma

schlüsse im Apatit, VI, 187. — Ueber amorphe Kieselerde, VI, 497.

Jungk, C. G., Ueb. Temperatur-Erniedr. bei Absorpt. d. Wassers durch feste poröse Körper, V, 292.

## K.

Kayser, G. A., Ungewöhnl. Ge-witter in Herrmannstadt, V, 165. Kesselmeyer, P. A., Muthmaafsl. Brandstift. durch e. Feuerkugel, VI, 188.

Ketteler, Ueb. d. Dispersion d. Lichts in Gasen, IV, 390.

Knoblauch, H., Ueb. d. Diffusion d. Wärmestrahlen, V, 1.

Knochenhauer, K. W., Ueb. d. Theilung d. Batteriestroms nach d. Galvanometer, VI, 228.

Kohlrausch, F., Apparat, welcher e. abgeschlossenen Raum auf constant. Temperatur erhält, V, 626.

Kremers, P., Ueber d. Affinität d. unzergl. Körper IV, 406. — Ueb. d. Aggregatzustände d. Verbindd. erster Ordn., V, 246. Kundt, A., Ueber e. besond. Art d. Beweg. elastischer Körper auf tönenenden Röhren u. Stäben, VI, 513.

## M.

Mach, E., Ueber Flüssigkeiten, welche suspendirte Körper enthalten, VI, 324. — Bemerk. über den Raumsinn d. Ohrs, VI, 331.

Magnus, G., Ueber d. Verschie-denheit d. Wärme, welche rauhe und glatte Oberflächen ausstrahlen, IV, 476.

Marcus, S., Neue u. sehr kräftige thermo-elektr. Säule, IV, 629. Matthiesen, A., Ueb. d. spec.

Leitungswiderstand der Metalle, bezogen auf d. Einheit d. British Assoc., nebst Bemerk. über die Quecksilber-Einheit, V, 497.

Meissner, s. Hankel.

Melde, F., Methoden z. Beobacht. v. Luftpblasen in mit Flüssigk. gefüllt. Röhren, IV, 87. — Ueber Absorpt. d. Lichts durch Gemische v. farb. Flüssigk., IV, 91 u. VI, 264.

Menzzer, Bezieh. zwisch. d. Ge-wicht der Magnetisirungsspirale u. d. magnet. Kraft, VI, 172.

Merz, S., Distanzmesser ohne Standlinie und Winkelmesser, V, 344.

Meyer, O. E., Ueber die innere Reibung d. Gase (Einfl. d. Luft auf Pendelschwingungen), V, 177, 401 u. 564.

Meyerstein, Prismen-Sphärometer, VI, 589.

Miller, W. H., Zwei neue For-men des Heliotrops, V, 510.

Mitscherlich, A., Anwendung d. Verbindungsspectren zur Ent-deck. von Chlor, Brom und Iod in geringst. Menge, V, 629.

Mohr, F., Seine Hageltheorie be-treff., VI, 488.

Morren, A., Ueb. d. s. g. Phos-phorenz in sehr verdünnt. Gasen bei und nach dem Durchgang d. elektr. Funkens, VI, 643.

Moutier, s. Dietzenbacher.

Müller, D., Einige pikrins. Salze u. Verhalt. d. Pikrinsäure gegen Metalle, IV, 103.

Müller, J., Wellenlänge d. blauen Indiumlinie IV, 637. — Ruther-furd's Photographie d. Spectr. VI, 435.

## N.

Neumann, F., s. Pape.

## P.

Pape, C., Ueb. d. Verwitterungs-Ellipsoid wasserhaltiger Krystalle

- IV, 329 u. V, 513. — Neumann's Beobacht. d. spec. Wärme verschiedener, namentl. zusammengesetzter Körper, VI, 123.  
 Pasteur, Spectr. d. Cucuyos, IV, 192.  
 Pfaff, F., Ueber e. eigentl. Struktur d. Berylle u. d. angebl. optisch zweiax. Krystalle der quadrat. u. hexagonal. Systems IV, 448.  
 Pisko, F. J., Beiträge zur Fluorescenz des Lichts, IV, 471.  
 Plateau, J., Sonderbar. magnet. Phänomen, VI, 368.  
 Poggendorff, J. C., Neue Einricht. d. Quecksilber-Luftpumpe V, 151. — Störung der Funken-Entladung d. Inductoriums durch seitl. Nähe isolir. Substanzen, VI, 57. — Ueber den Einfl. einiger noch nicht ermittelt. Umstände auf die elektr. Entladungs-Erschein. VI, 307.

## R.

- Raillard, F., Ueber den Regenbogen, VI, 511.  
 Rammelsberg, C., Zusammensetzung d. Manganerze u. spec. Gewicht derselben und d. Manganoxyde überhaupt, IV, 513. — Ueb. das iodsäure Natron-Iodnatrum, V, 147. — Zusammensetzung d. Oligoklas u. Labrador, VI, 39.  
 Reichenbach, K. v., Geschichte d. Meteoriten von Blansko usw. IV, 213. — Die schwarz. Linien und Ablosungen i. d. Meteoriten, V, 308, 420 u. 600.  
 Reichert, E., Die Brechung d. Lichts als Mittel zu quantitativen Bestimmungen, VI, 425.  
 Reishaus, Th., Beitr. z. Erklär. d. Windstösse, V, 640. — Beitr. z. Erklärung d. tägl. Barometerschwankungen, VI, 180.  
 Remelé, A., Untersuch. über d. geschwefelte Verbindl. d. Urans, IV, 114 und V, 209.

Reusch, C., Ueber e. Hydrophan v. Czerwenitsa, IV, 431 und 643.

Reye, Th., Zur Theorie der H₂-gelbildung, V, 341. — Die Ausdehn. d. atmosph. Luft bei der Wolkenbild. V, 618.

Richer, Elektrisimaschine von Schwefel, IV, 512.

Riefs, P., Ablenk. d. Magnetnadel durch d. Nebenströme d. Leydener Batterie, IV, 252. — Ueb. d. Ladung d. Condensators durch d. Nebenströme der Leydener Batterie, VI, 573.

Rive, A. de la, Ungewöhnlicher Blitzschlag, VI, 367. — Wirk. d. Inductionsfunk. auf Glas, VI, 368.

Roscoe, H. E., Einfach. Instrument z. meteorolog. Lichtmessungen usw. IV, 353.

Rose, E., Die Lehre von d. Farbenkrankheiten i. Abrifs, VI, 68.

Rose, G., Systemat. Eintheilung d. Meteoriten, VI, 193. — Ueb. d. Krystall. d. Albite vom Rocourté und v. Bonhomme, u. d. Albite im Allgem., V, 457.

Rüdorff, F., Ueber d. Bestimm. d. Kohlensäure im Leuchtgase, V, 75.

Rutherford, L. M., Ueber die Construction d. Spectroskop, IV, 363. — Photographie d. Spectr. VI, 435.

## S.

Safs, A. T. v., Ueber d. Niveauverschiedenheit der Ostsee, VI, 178.

Scheerer, Th., Ueb. d. genaue Bestimm. d. Eisenoxyduls in Silicaten, namentlich Glimmern, IV, 94.

Schmid, E. E., Ueber Okenit, VI, 143. — Ueb. d. Aragonit v. Gr. Kammsdorf, VI, 147. — Ueb. Psilomelan, VI, 151.

Schrauf, A., Zur Ermittl. d. Re-

fractio[n]-Aequivalente d. Grundstoffe, VI, 177.

Schröder van der Kolk, H. W., Ueber die Geschwindigkeit des Schalls, IV, 453. — Studien üb. d. Gase, VI, 333.

Schultze, M., Berichtig. betreff. den Aufsat[z] von E. Reusch üb. d. Agat, IV, 190.

Secchi, Ueber den Einfl. d. Atmosphäre auf d. Linien d. Spectr. VI, 485.

Siemens, W., Ueber d. Erwärm. d. Glaswand d. Leydner Flasche durch d. Ladung, V, 137.

Sondhaus, C., Ueber d. Töne, welche b. Ausström. d. Wassers entstehen, IV, 1 u. 235.

Soret, L., Bestätig. d. elektrolyt. Gesetzes, falls der Strom eine äußere Arbeit thut, V, 57.

Stahlschmidt, C., Beiträge zur Kenntniß d. Stickstoffseisens, V, 37.

Stefan, J., Ueber die Natur d. unpolarisirt. Lichts u. d. Doppelbrech. d. Quarzes in Richt. seiner opt. Axe, IV, 623. — Ueber einige Thermo-Elemente v. grosser elektromotor. Kraft, IV, 632. — Ueber Nebenringe an Newton's Farbengläse, V, 160. — Ueb. d. Farbenzerstreuung durch Drehung der Polarisationsebene in Zuckerlösungen, VI, 658.

Steinbeck, A., Ueber d. Stafs-furtit, V, 68.

Steinheil, K. A., Noch e. Construct. d. Heliotrops, VI, 191.

Stokes, G. G., Ueber d. Unterscheid. organ. Körper durch ihre optischen Eigenschaften, VI, 619.

### T.

Thalén, R., Ueber d. Bestimm. d. Elastizitätsgränze bei Metallen IV, 602.

Thomsen, J., Die Polarisationsbatterie usw. IV, 498 u. V, 163.

Das mechanische Aequivalent des Lichts, V, 348.

Töpler, A., Erzeugung e. eigen-thümli. Art v. intensiv elektrischen Strömen mittelst e. influenz-Elektromotors, V, 469.

Troost, Magnesiumlicht, V, 644. Tschermak, G., Die chem. Zusammensetz. der Feldspäthe, V, 139.

Tyndall, J., Ueber leuchtende und dunkle Strahlung IV, 36.

### V.

Valérius, H., Neues elektr. Chronoskop mit rotirendem Cylinder u. Anwendung einer Stimmgabel VI, 470.

Villari, E., Ueber d. Aindr. d. magnet. Moments, welche d. Zug u. d. Hindurchleit. e. galvanischen Stroms in e. Stab v. Stahl oder Eisen hervorbringen, VI, 87.

Vogel, H., Neue Silbertitrimethode, IV, 347. — Neue photographisch chem. Untersuchung, die Licht-Empfindlichkeit d. Iodsilbers betreffend, V, 329.

### W.

Waltenhofen, A. v., Beob. üb. d. elektr. Licht in höchst verdünnten Gasen, VI, 527.

Weber, Rud., Ueb. mehrere Verbind. d. Fünflach-Chlorantimons V, 178. — Ueber die Verbind. d. Selenacichloride mit Chlormetallen, V, 325.

Weihrich, G., Vertheil. d. Magnetism. in weich. prismat. Eisenstäben, die an d. Ende e. Magnetstäbe angelegt sind, V, 276.

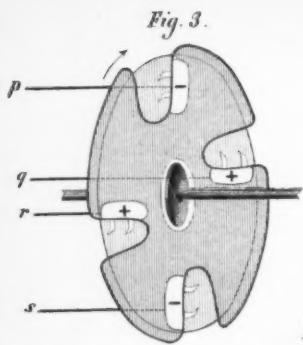
Weilsbach, A. v., Beiträge zur Kenntn. d. Margarits, V, 441.

Weyl, W., Ueber die Bestimm. d. Kohlenstoff's im Stahl VI, 617.

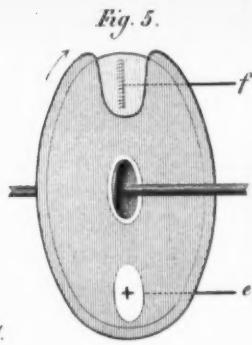
Wiedemann, G., Magnet. Unter-

- suchungen (Ueber d. Magnetism. d. Salze d. magnetischen Metalle) VI, 1,  
**Wild, H.** Ueber d. Identität v. Lichtäther und elektr. Flaidum, IV, 507. — Ueber die Veränder.  
 d. elektromotor. Kräfte zw. Metallen und Flüssigk. durch den Druck, V, 119.  
**Wohlwill, E.** Zur Geschichte der Erfind. und Verbreitung des Thermometers, IV, 163.

Me-  
den  
chte  
des



*Fig. 3.*



*Fig. 5.*

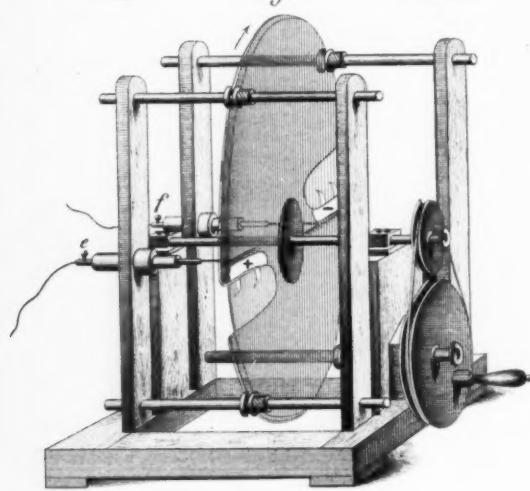
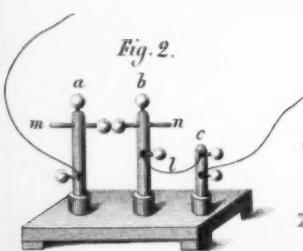
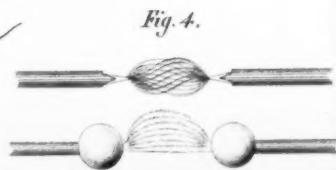


Fig. 1.



*Fig. 2.*



*Fig. 4.*

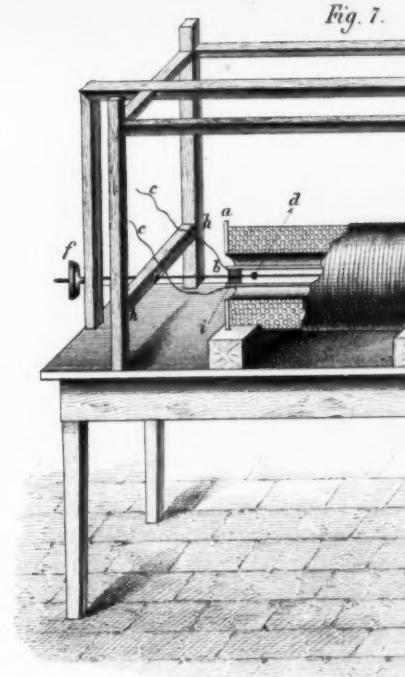
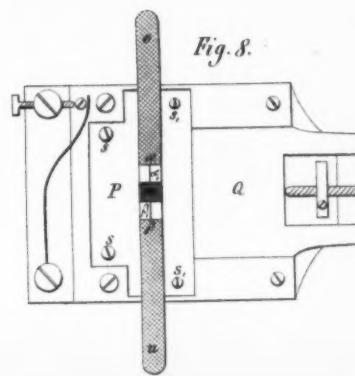
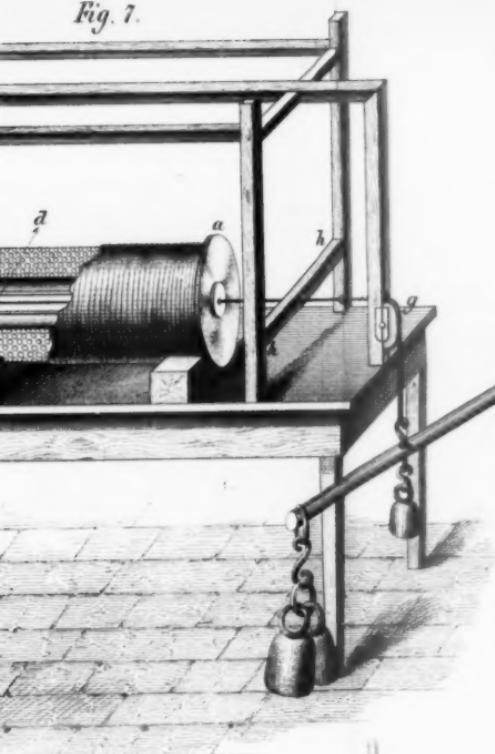


Fig. 7.



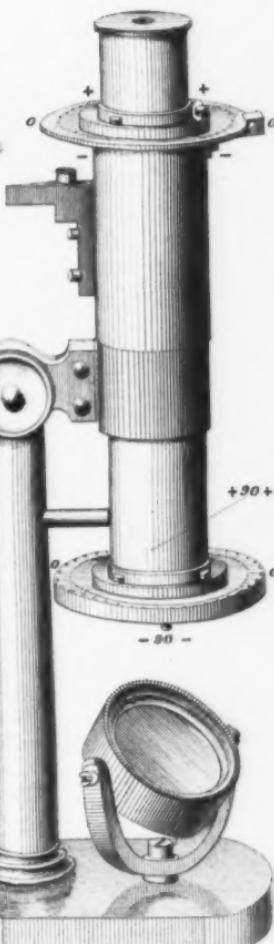
*Fig. 8.*

*Fig. 7.*

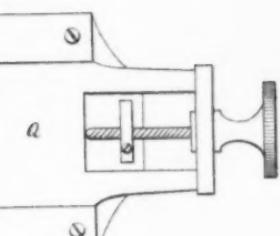


*Tafel I.*

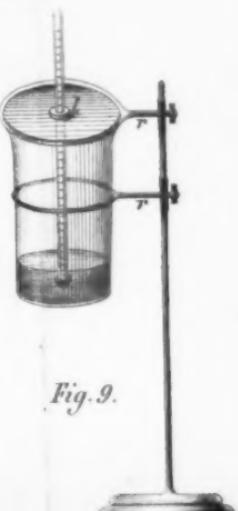
*Fig. 6.*

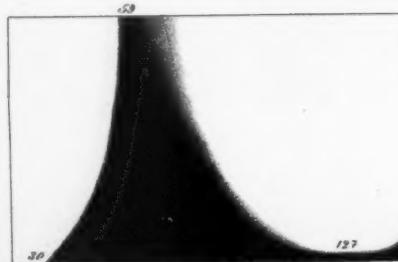
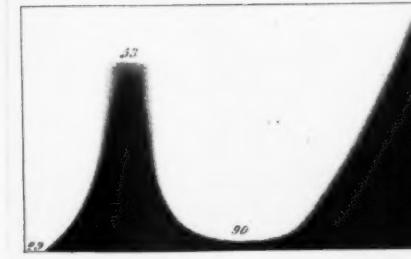
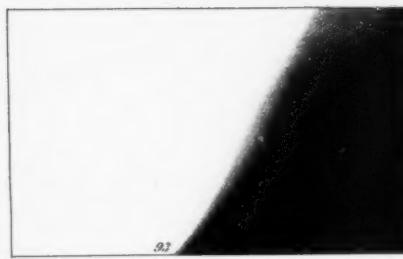
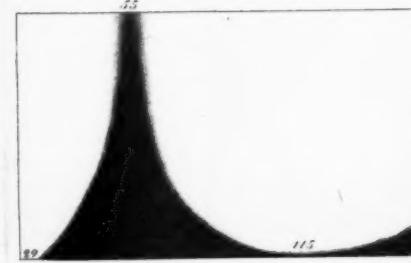
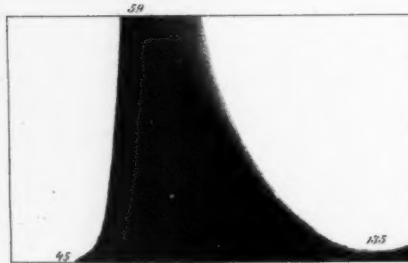
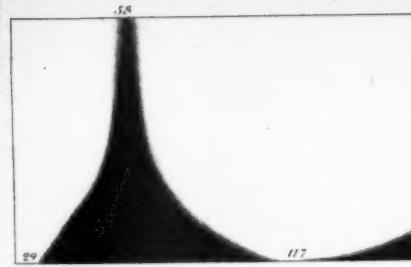
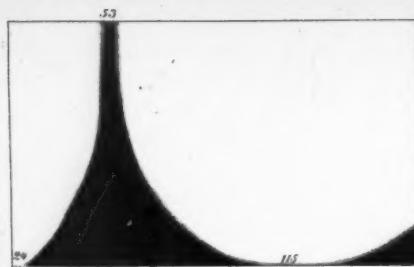


*Fig. 8.*



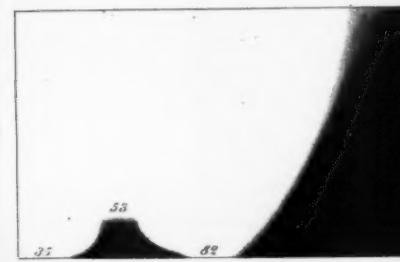
*Fig. 9.*



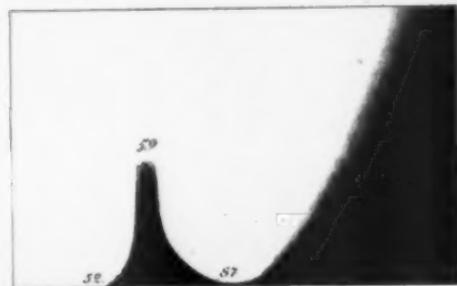
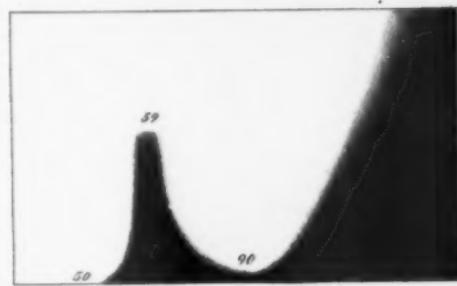
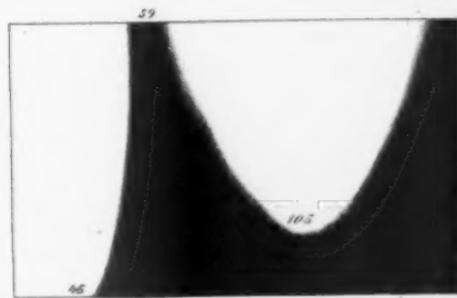
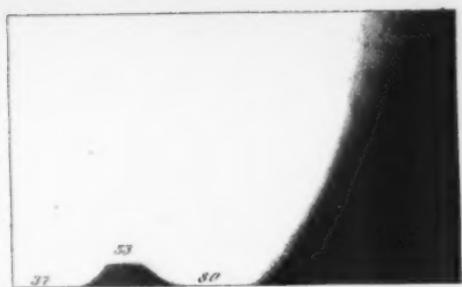


I<sup>2</sup> II =

I<sup>2</sup> I

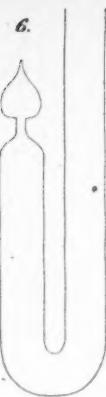


A. Schätzge. Nach

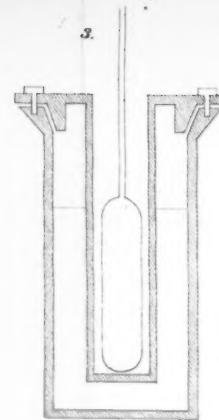




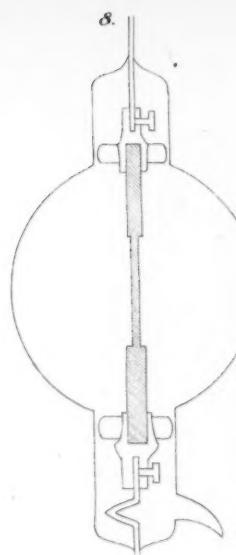
1.



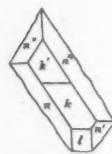
6.



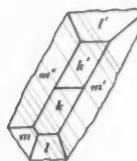
3.



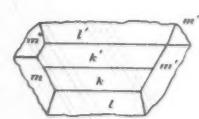
8.



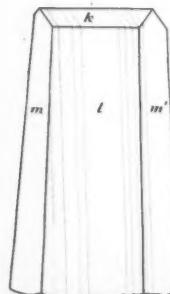
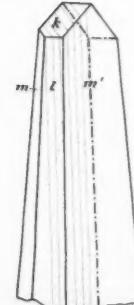
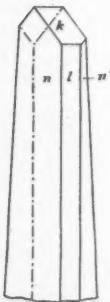
13.



12.



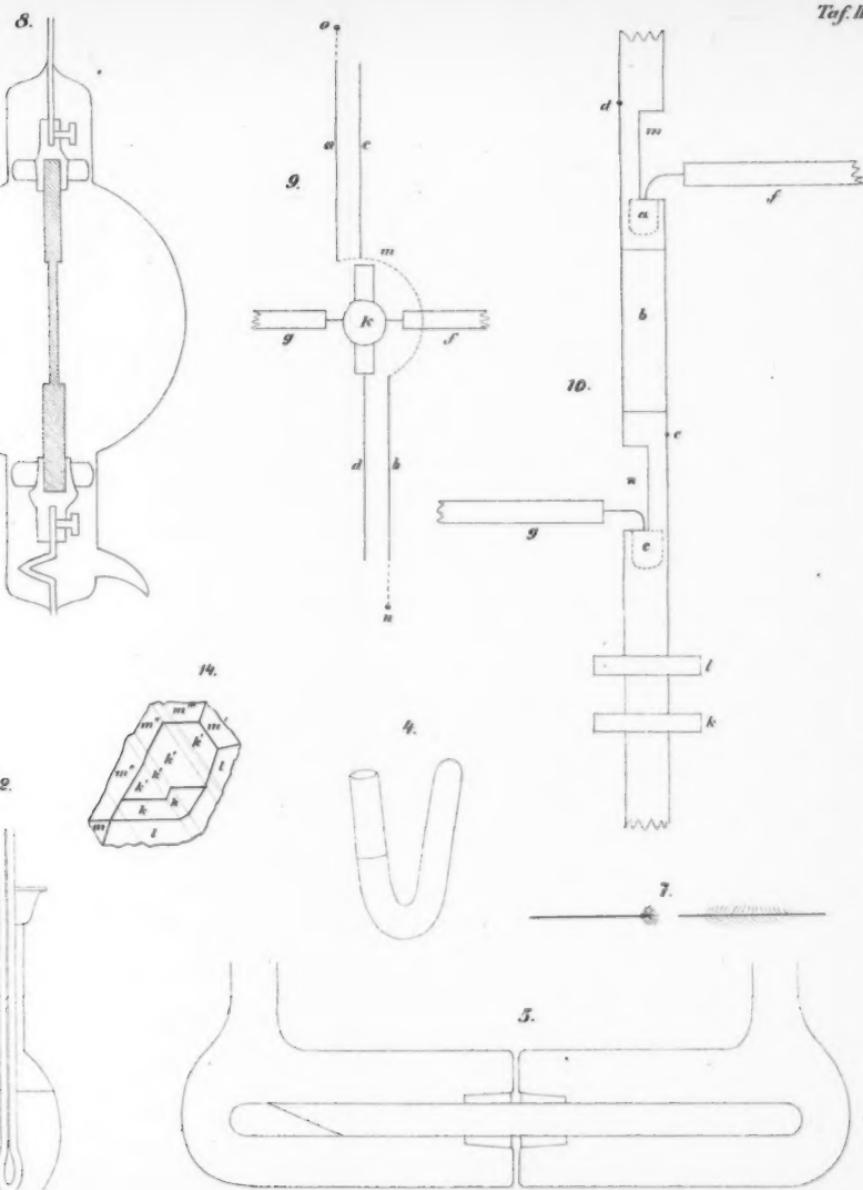
11.



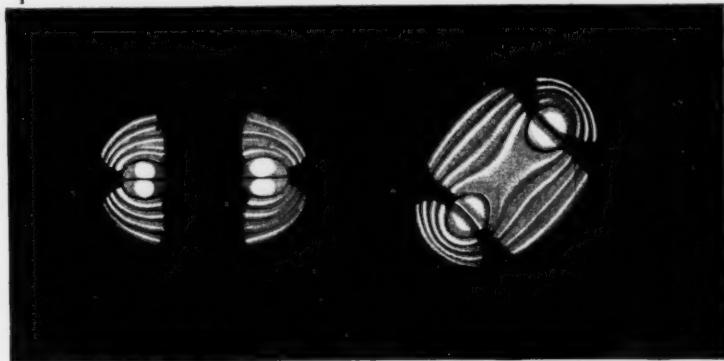
10.



A. Schüsse in Stein geset.



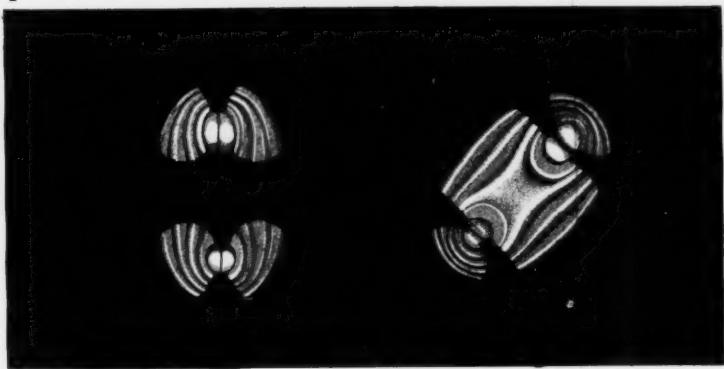
1



4



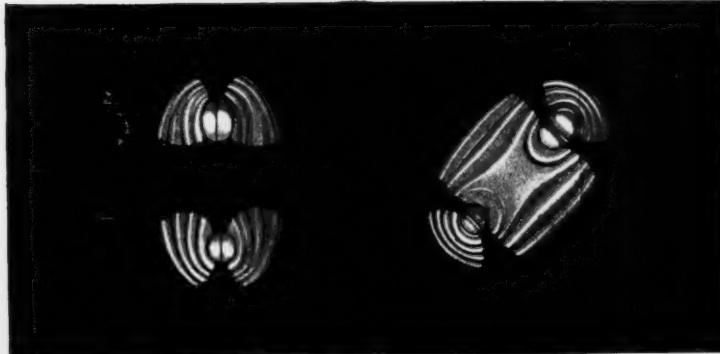
2

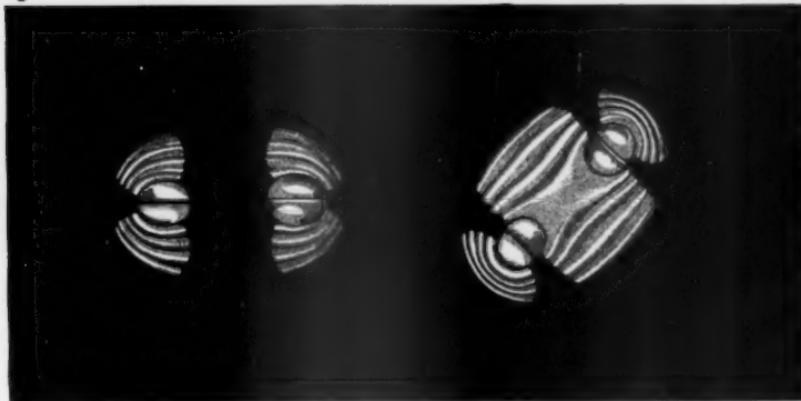
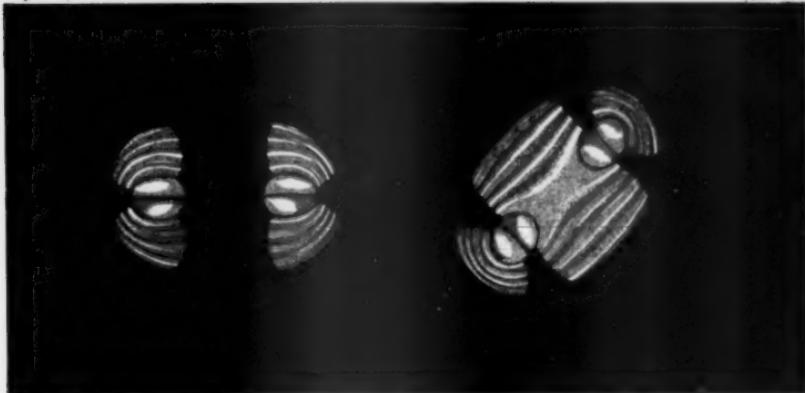


5



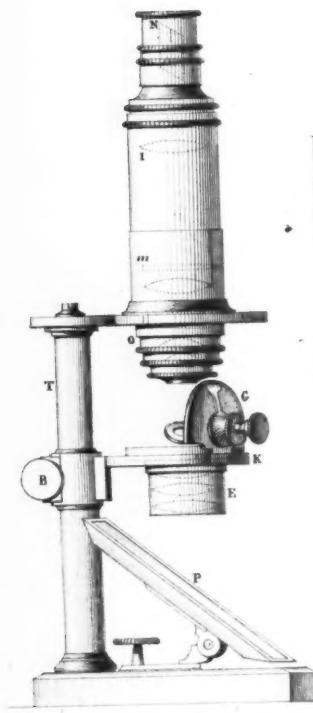
3



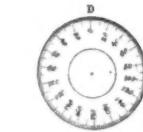
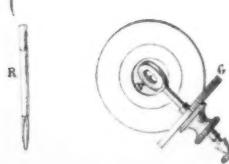


1. Salpeter  $\rho < v$
2. Geneigte Dispersion ..... GYPS.
3.  $d^{\circ}$   $d^{\circ}$  ..... DIOPSID.
4. Horizontale  $d^{\circ}$  ..... FELDSPATH.
5. Gekreuzte  $d^{\circ}$  ..... BORAX.

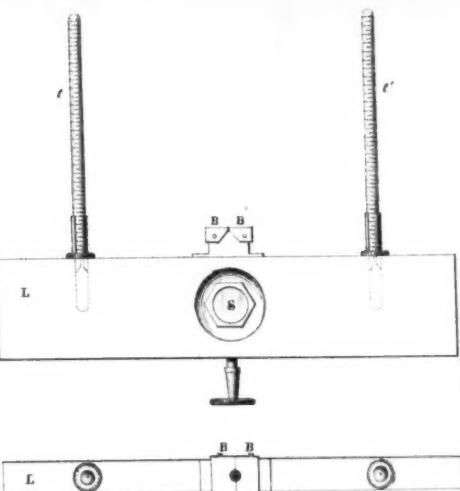
*Fig. 1.*



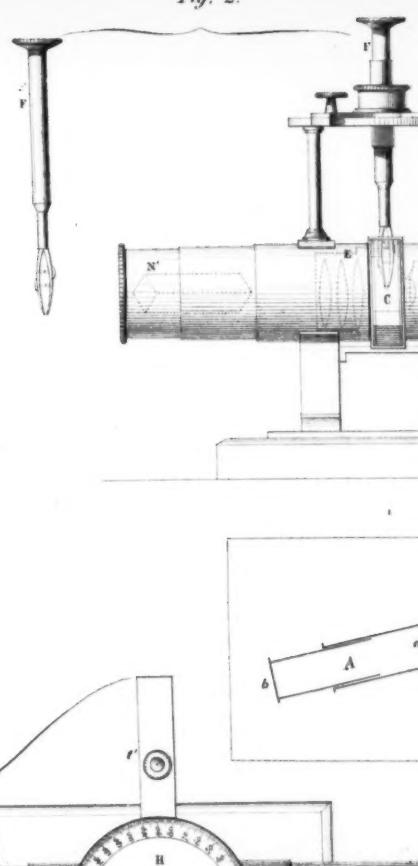
*Fig. 1.*



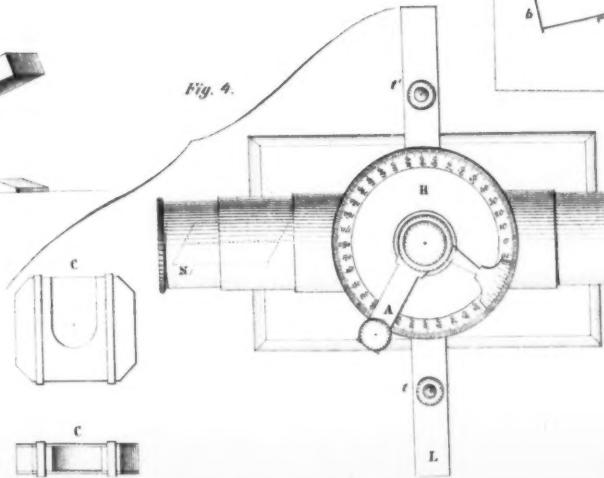
A. Zeichnung im Steine gezeichnet.



*Fig. 3.*



*Fig. 4.*



Maßstab in 1/3 der natürl. Größe



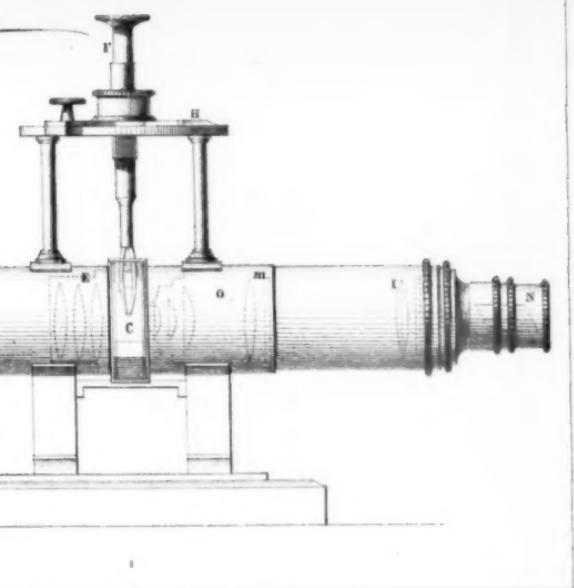


Fig. 5.

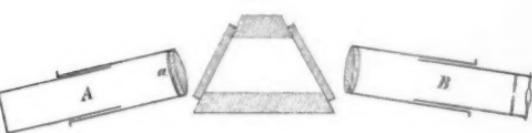


Fig. 6.

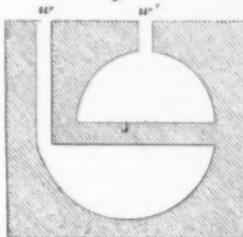
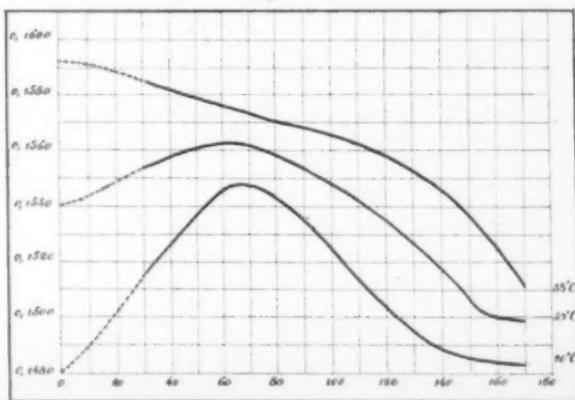
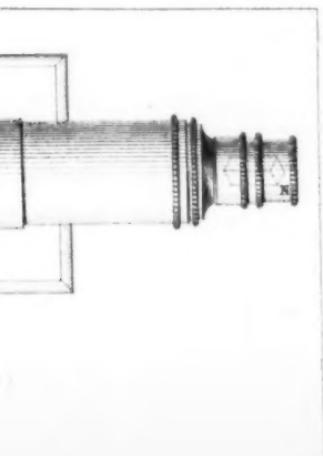
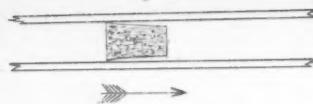


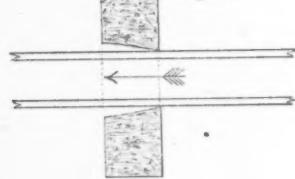
Fig. 7.



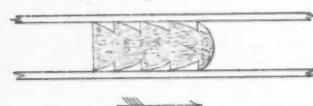
*Fig. 1.*



*Fig. 2.*



*Fig. 3.*



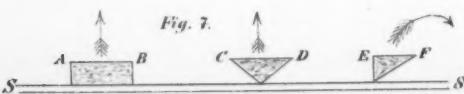
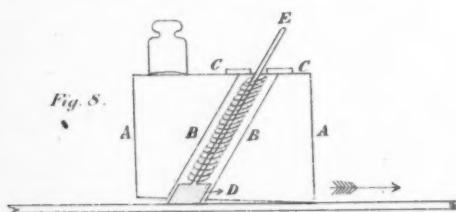
*Fig. 5*



*Fig. 6.*

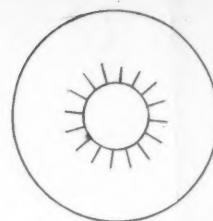


*Fig. 8.*

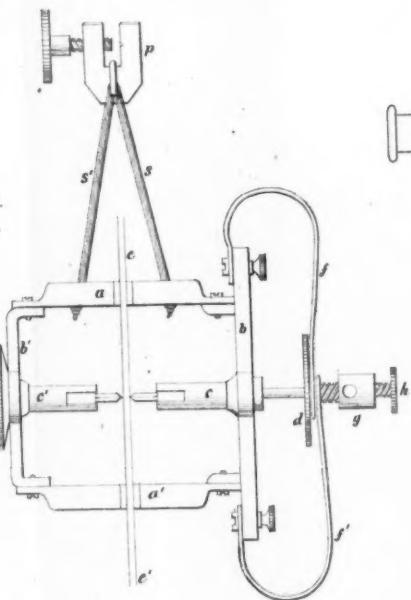


*Die Schüsse im Stein gießt.*

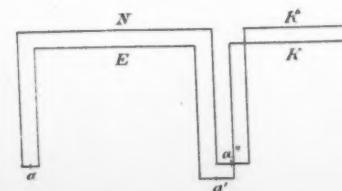
*Fig. 4.*



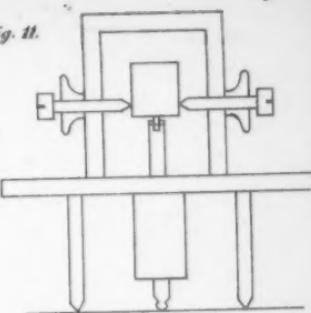
*Fig. 9.*



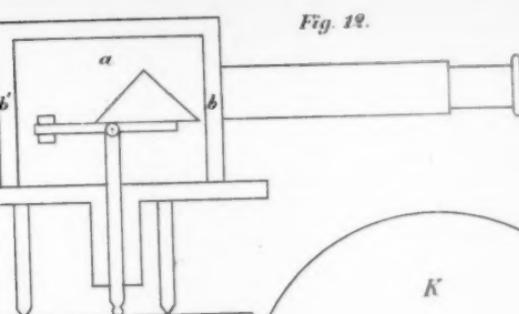
*Fig. 10.*



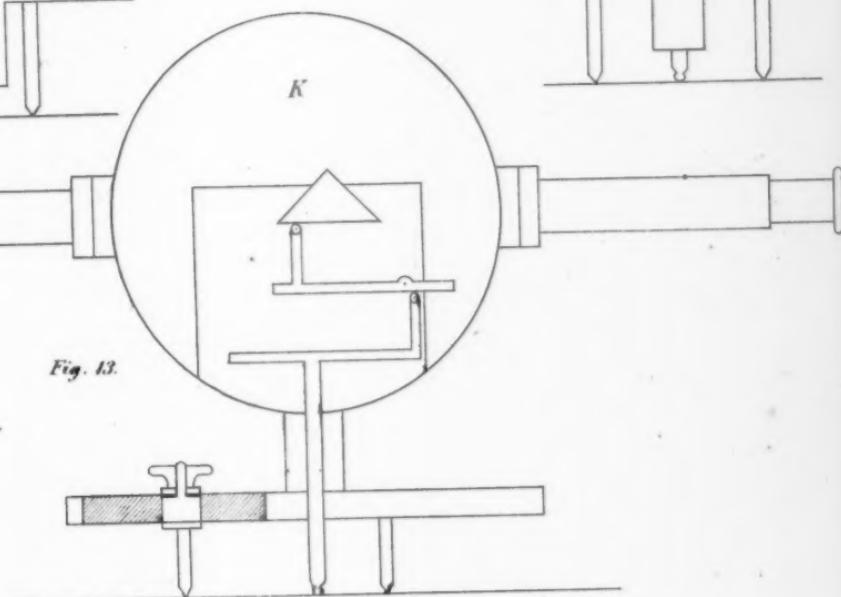
*Fig. 11.*



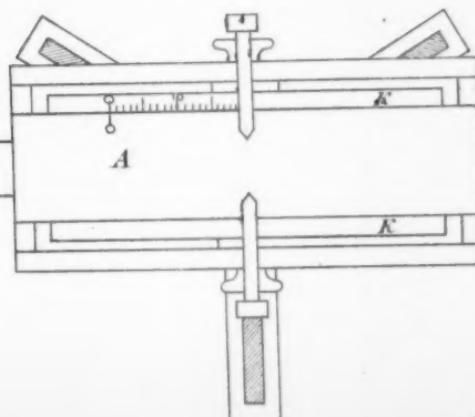
*Fig. 12.*



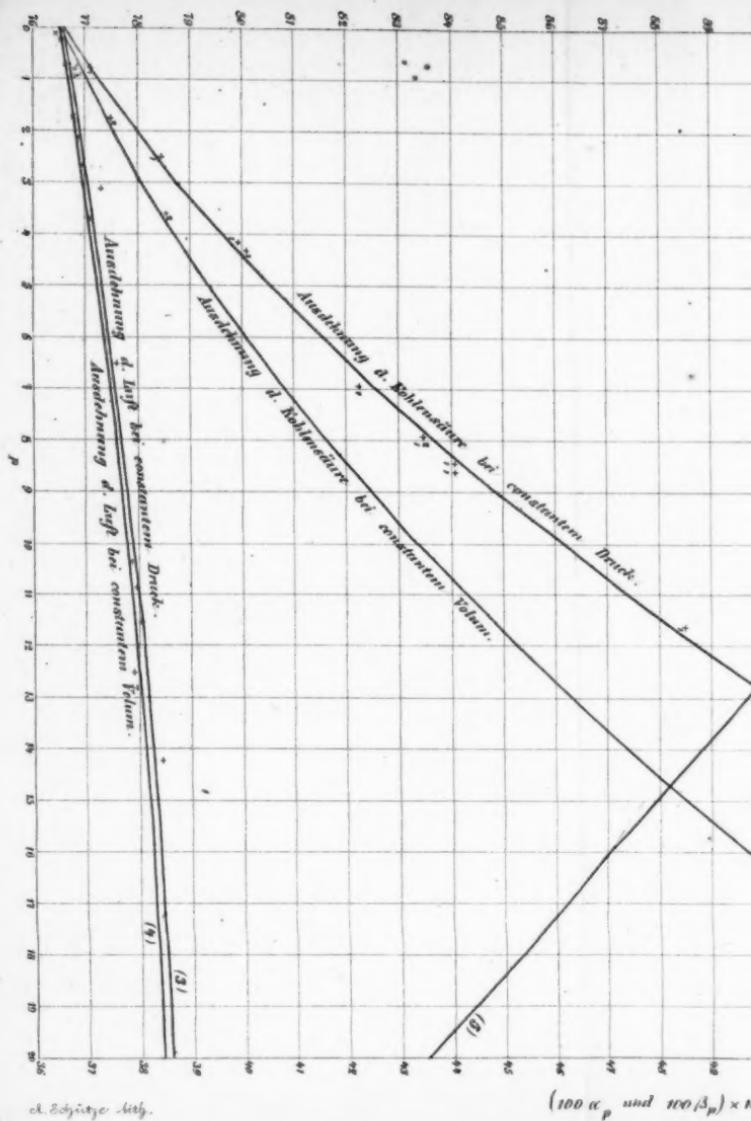
*Fig. 13.*



*Fig. 14.*

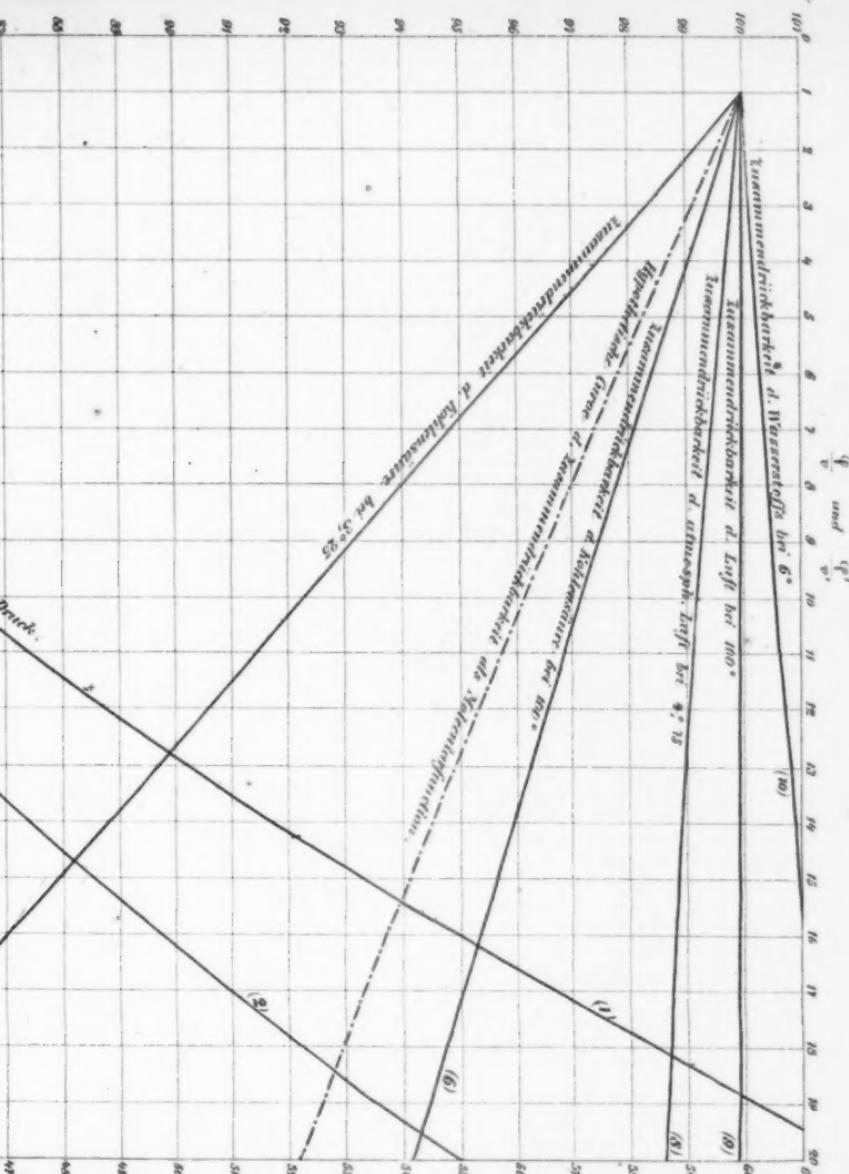


$(\Delta_p \text{ und } \beta_p) \times \gamma$



( $\Delta_n$  und  $\mathcal{D}_n$ )  $\times 100$ .

Taf. VII.



and  $100/\beta_p) \times 100$

Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. CLXVII. St. 4.